

"AÓ DE LA CONSOLIDACIÓN DEL MAR DE GRAU"

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por Ley N° 25265)

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS CIVIL AMBIENTAL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL LIRCAY



TESIS

**"ANÁLISIS DINÁMICO DE ESTABILIDAD DE TALUDES POR
ELEMENTOS FINITOS EN LA ZONA DE HUAYLLAPAMPA
DEL DISTRITO DE CUENCA - HUANCAMELICA "**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN
GEOTECNIA**

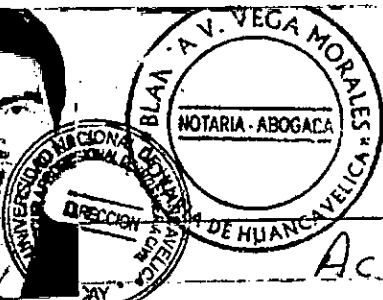
**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR LOS BACHILLERES:
BACH, TARDEO DE LA CRUZ, Cesar Augusto
BACH. ZANABRIA PARI, Ever**

ASESOR:

LIC. FRANKLIN SURICHAQUI GUTIERREZ

**LIRCAY - PERÚ
2016**



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

En el paritorio de la Facultad de Ingeniería de Minas Civil Ambiental de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil - Lircav a los dieciséis de octubre del 2016 siendo las 4:30 pm, se instala los miembros del jurado en base a la Resolución de Consejo de Facultad N° 313 - 2016 - FIMCA - UNH de fecha 28 de setiembre del 2016 en la cual se resuelve:

Artículo primero.- Aprobar fecha y hora para la sustentación de Tesis cuyo título es "Análisis dinámico de estabilidad de Taludes por elementos finitos en la zona de Huayllapampa del distrito de Cuenca - Huancavelica" Simón Responsable del proyecto de investigación Los Bachilleros en Ingeniería Civil Tardío de la Cruz César Augusto y Zonabria Pari, E.M., siendo los miembros del Jurado: Ing. Camac Ojeda, Enrique Rigoberto (Presidente); Ing. Neira Calsin, Uriel (Secretario) Ing. Nahui Gaspar Rodin, Zosimo (Vocal). Con la finalidad de evaluar la sustentación de Tesis referido.

Inmediatamente después se procedió con la intervención del presidente dando las instrucciones correspondientes para el inicio de la sustentación; Debidamente Terminada la sustentación de la tesis se procedió a la formulación de preguntas por los miembros del jurado las cuales fueron consultas por los tesis.

Los miembros del jurado después de un intenso debate se resuelve: Aprobar la sustentación de Tesis por unanimidad siendo 6:30 pm del dieciséis de octubre del 2016 en señal de conformidad firman al pie del presente:

Camac Ojeda

ING. CAMAC OJEDA

ENRIQUE R.

(PRESIDENTE)

Grafiteo

Neira Calsin

ING. NEIRA CALSIN

URIEL

(SECRETARIO)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA
SECRETARIA GENERAL

CERTIFICO: QUE EL PRESENTE DOCUMENTO
ES COPIA FIEL DE SU ORIGINAL

Nahui Gaspar

Arch. Mauro E. Casas Romero

TERCER FEDATARIO (VOCAL)

Res. N° 0019 - 2017-R-UNH,

17 ENE. 2017

DEDICATORIA

A mi querida Madre: Julia De La Cruz
Ccoñas, porque con su ejemplo y
perseverancia supieron conducir mi camino.
A mis queridos hermanos: por el apoyo
incondicional que me brindaron.

Cesar.

Muchas gracias a mis padres: Manuel y
Alejandra porque sus consejos me ayudaron
a tomar las decisiones correctas, por el
esfuerzo que han hecho para que no me falte
nada y porque el amor que me brindan me ha
enseñado a amar a los que me rodean, de la
misma forma a mi familia que son el apoyo
incondicional.

Ever.

AGRADECIMIENTO

A nuestro creador, por brindarnos la guía y dirección en nuestras vidas; dándonos oportunidades para conseguir nuestros objetivos y metas.

A la Universidad Nacional de Huancavelica, Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, por ser nuestra segunda casa y a la cual debemos nuestra preparación profesional.

A los docentes de nuestra Facultad de Ingeniería, por sus enseñanzas y consejos que nos brindaron durante los años de estudio.

A nuestro asesor, Lic. Franklin Surichaqui Gutiérrez, por su apoyo, comprensión y tiempo dedicado para la realización del presente trabajo.

A nuestros padres, por su apoyo incondicional en el camino de la superación.

A nuestros amigos y a todas aquellas personas que nos apoyaron en la culminación de la presente tesis.

Los tesisistas

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO	4
RESUMEN	8
INTRODUCCIÓN	9
CAPÍTULO I	12
PROBLEMA	12
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	12
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS:	13
1.3. OBJETIVOS	13
1.4. JUSTIFICACIÓN	14
1.5. RELEVANCIA	15
CAPÍTULO II	16
MARCO TEÓRICO	16
2.1. ANTECEDENTES	16
2.2. BASES TEÓRICAS	20
2.2.1. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES	20
2.2.2. MODOS DE FALLA	22
2.2.2.3. FALLA POR MOVIMIENTO DEL CUERPO DEL TALUD	24
2.2.2.4. FLUJOS	25
2.2.2.5. FALLAS POR EROSION	26
2.2.2.6. FALLA POR LICUACION	26
2.2.3. PRESIÓN DE POROS	27
2.2.4. ANÁLISIS EN ZONAS SÍSMICAS	28
2.2.4.1. MÉTODO DE NEWMARK	29
2.2.4.2. MÉTODO DE MAKDISI Y SEED	30
2.2.5. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA INESTABILIDAD DE TALUD	31
2.2.7. ESTRUCTURA DE LOS TALUDES	36
2.2.7.1. TALUD:	36
2.2.7.2. ETAPAS EN EL PROCESO DE FALLA	36
2.2.8. MÉTODO HEURÍSTICO	37
2.2.9.1. METODOLOGÍA MORA-VAHRSON (MV)	38
2.2.9.2. DESCRIPCIÓN DE LOS PARÁMETROS DE LA METODOLOGÍA MVM	39
2.2.10. MÉTODO DETERMINÍSTICO	44
2.2.11. PRINCIPALES MÉTODOS DEL EQUILIBRIO LÍMITE	46
2.2.11.1. MÉTODO DE FELLENIUS	47
2.2.11.2. MÉTODO DE BISHOP SIMPLIFICADO	50
2.2.11.3. MÉTODO DE JANBU.	52
2.2.11.4. MÉTODO DE SPENCER	54

2.2.11.5. MÉTODO DE MORGENSTERN Y PRICE	54
2.2.11.6. MÉTODO DE SARMA	55
2.2.12. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES ELEMENTOS FINITOS.	57
2.2.13. METODOS PARA ESTABILIZAR TALUDES	59
2.2.13.1. METODOLOGÍAS DE REMEDIACIÓN	59
2.2.14. SELECCIÓN DEL METODO DE ESTABILIZACION	63
2.2.14.1. CAMBIO DE LA GEOMETRIA	64
2.2.14.2. DRENAJE	64
2.2.14.3. SOLUCIONES ESTRUCTURALES	66
2.2.15.LIMITACIONES EN LA APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN DE TALUDES	66
2.2.16. ANALISIS SISMICO POR ELEMENTOS FINITOS O DIFERENCIAS FINITAS	67
2.2.17. FACTOR DE SEGURIDAD	68
2.2.18. OBTENCIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD:	69
2.2.19. ANALISIS POR ELEMENTOS FINITOS:	69
2.2.20. ANÁLISIS DINÁMICO DE ESTABILIDAD DE TALUDES CON GEOSTUDIO:	76
2.2.21. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES:	77
2.2.22. MODELOS CONSTITUTIVOS:	78
2.2.23. SISMICIDAD:	79
2.2.24. SISMOS SELECCIONADOS PARA LOS ANÁLISIS:	80
2.2.25. MODELOS DE LOS TALUDES EN GEOESTUDIO:	81
2.2.25.1. GEOMETRÍA DE LOS MODELOS:	81
2.2.26. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN SUELOS	82
2.2.27. DEFINICIÓN DE DINÁMICA DE SUELOS:	83
2.2.27.1. APLICACIONES INFORMÁTICAS:	83
2.2.27.2. EL PROBLEMA DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES:	84
2.3. HIPÓTESIS	86
2.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	87
2.5. MATRIZ DE CONSISTENCIA.	87
CAPÍTULO III	89
METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	89
3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO	89
3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN:	94
3.3. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	94
3.4. NIVEL DE INVESTIGACIÓN	94
3.5. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	95
3.6. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	95
3.7. POBLACIÓN, MUESTRA, MUESTREO	96
3.8. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	96
3.9. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS	97
3.10. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	98
CAPÍTULO IV	99

RESULTADOS	99
4.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	99
4.2. DISCUSIONES	106
CONCLUSIONES	108
RECOMENDACIONES	109
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	110
ANEXOS	113



RESUMEN

La presente tesis da a conocer el estudio de Inestabilidad de talud determinando el factor de seguridad de talud mediante el análisis dinámico por elementos finitos en la zona de Huayllapampa del distrito de Cuenca – Huancavelica en el año 2016 , cuyo objetivo es identificar el factor de seguridad del talud en estudio; para lo cual se emplearon los diferentes métodos del análisis heurístico, donde el análisis heurístico muestra como resultado la susceptibilidad a deslizamientos, cuyo método específico a emplear para este análisis es el método Mora Vahrson, considerando variables de susceptibilidad como geología, pendiente, geomorfología, vegetación y las variables desencadenantes de precipitación y sísmica. De la misma forma, por la naturaleza del estudio, se utilizó el método determinístico con fines de cálculo del factor de seguridad de talud en el sector de estudio, basándose específicamente en el análisis estático y análisis dinámico, por lo que este primero emplea los métodos de equilibrio límite y el método de elementos finitos. Tales resultados concluyen que en la zona de Huayllapampa del distrito de cuenca – Huancavelica son inestables, al obtener un factor de seguridad menor a 1. Dentro del análisis dinámico, se aplicó el método de elementos finitos, los cuales guardan relación con los resultados obtenidos en el análisis estático, ya que el factor de seguridad dinámico en la zona de Huayllapampa del distrito de cuenca – Huancavelica y es menor a 1.25, por lo cual es inestable. Teniendo en cuenta estos resultados, se proponen medidas de mitigación de riesgo, como la construcción de anclajes, por la naturaleza y condiciones que presentan las áreas de estudio.

PALABRA CLAVE

- INESTABILIDAD DE TALUDES
- FACTOR DE SEGURIDAD
- ELEMENTOS FINITOS
- ANALISIS DINAMICO

Los Tesistas

INTRODUCCIÓN

Una propuesta metodológica para la generación de modelos de amenaza por procesos de remoción en masa. Esta metodología toma en cuenta la Evaluación Espacial Multicriterio como técnica para considerar simultáneamente todas las variables y el método costarricense Mora-Vahrson para clasificar la amenaza por deslizamientos, con ajustes particulares de acuerdo a las características del área de estudio y la información disponible, considerando variables de susceptibilidad como geología, pendiente, geomorfología, vegetación y conflicto de uso del espacio; y las variables desencadenantes de precipitación y sísmica

La temática está estrechamente relacionada con la gestión de riesgo ambiental, por lo que resulta de gran interés para la ciencia, el Estado, los planificadores, las instituciones y la población en general, ya que las repercusiones que en los últimos años han tenido sobre el país la ocurrencia de fenómenos naturales como las lluvias extremas, combinadas con un alto nivel de vulnerabilidad en la población, han dejado trágicas consecuencias como pérdidas de vidas humanas y económicas, que colocan a muchas familias en una situación de riesgo; lo que genera en consecuencia, un grave problema para el Estado y la sociedad. Por estos motivos, en la actualidad se hace imprescindible contar con herramientas que contribuyan con la gestión de riesgo ambiental, tal como la representación cartográfica del riesgo, para precisar espacialmente el peligro y tomar acciones en consecuencia.

El fenómeno de la inestabilidad de taludes, es uno de los procesos geológicos con más ocurrencia en la serranía de nuestro país, causando cuantiosas pérdidas económicas y, en muchos de los casos pérdidas humanas. Este fenómeno también fue registrado en nuestra región de Huancavelica. Las ocurrencias de estos eventos tienen como causales la intervención de factores internos, tales como: la topografía, geología, humedad del suelo, etc.; así como de factores externos, como: clima y eventos sísmicos, que en su interacción generan desastres naturales, repercutiendo negativamente en el ámbito social, natural y económico. En consecuencia, recae la necesidad de identificar y determinar el estado, las causas y medidas a tener en cuenta, para su prevención oportuna; de modo que, teniendo en cuenta las zonas de riesgo y los eventos de la naturaleza que presenta el distrito de Cuenca, se identifica la zona de Huayllapampa del distrito de cuenca – Huancavelica, teniendo como antecedente el fenómeno ocurrido en el año 2014

causando el embalsamiento en el río Mantaro y a la vez generando pérdidas económicas dentro de la zona, a la fecha es habitada con normalidad realizándose labores agrícolas con total normalidad. El área de estudio presenta antecedentes de deslizamiento de masas como se menciona en el párrafo anterior el cual fue de impacto hasta la actualidad, que recobró daños de consideración; no habiendo a la fecha propuestas y/o mediadas de control – prevención, por lo que recae la necesidad e importancia del presente estudio de investigación en la Estabilidad de Taludes en la zona de Huayllapampa del distrito de Cuenca – Huancavelica, donde por la naturaleza de la investigación se emplea diversos métodos de análisis, de acuerdo a las variables de estudio como los métodos heurísticos y determinísticos para definir el factor de seguridad, el cual podrá definir la estabilidad o inestabilidad de los taludes. Esta diferencia en el empleo de los métodos heurísticos y determinísticos, se basa en que el análisis heurístico representa criterios en conocimiento a priori de los factores que producen inestabilidad en el área de estudio; de manera que, estos factores son ordenados y ponderados según su importancia asumida o esperada en la formación de deslizamiento. Este análisis se determina por la evaluación de la susceptibilidad al deslizamiento de masas, por su parte el análisis determinístico se fundamenta en métodos basados en modelos numéricos, el cual incluye el desarrollo de los siguientes criterios: la mecánica de suelos, el comportamiento geodinámica del área, el flujo del agua, la geometría del talud y la topografía del entorno. Por consiguiente, el desarrollo de estos criterios, tiene por finalidad avizorar e identificar la susceptibilidad y la inestabilidad de los taludes en estudio, con lo cual se propondrá mecanismos necesarios para ejecutar procedimientos de estabilización de taludes. Estos procedimientos de estabilización se ciñen a los resultados obtenidos en la presente tesis, lo cual garantizará la gestión de riesgo; por ende, la seguridad de los asentamientos localizados sobre el área de estudio.

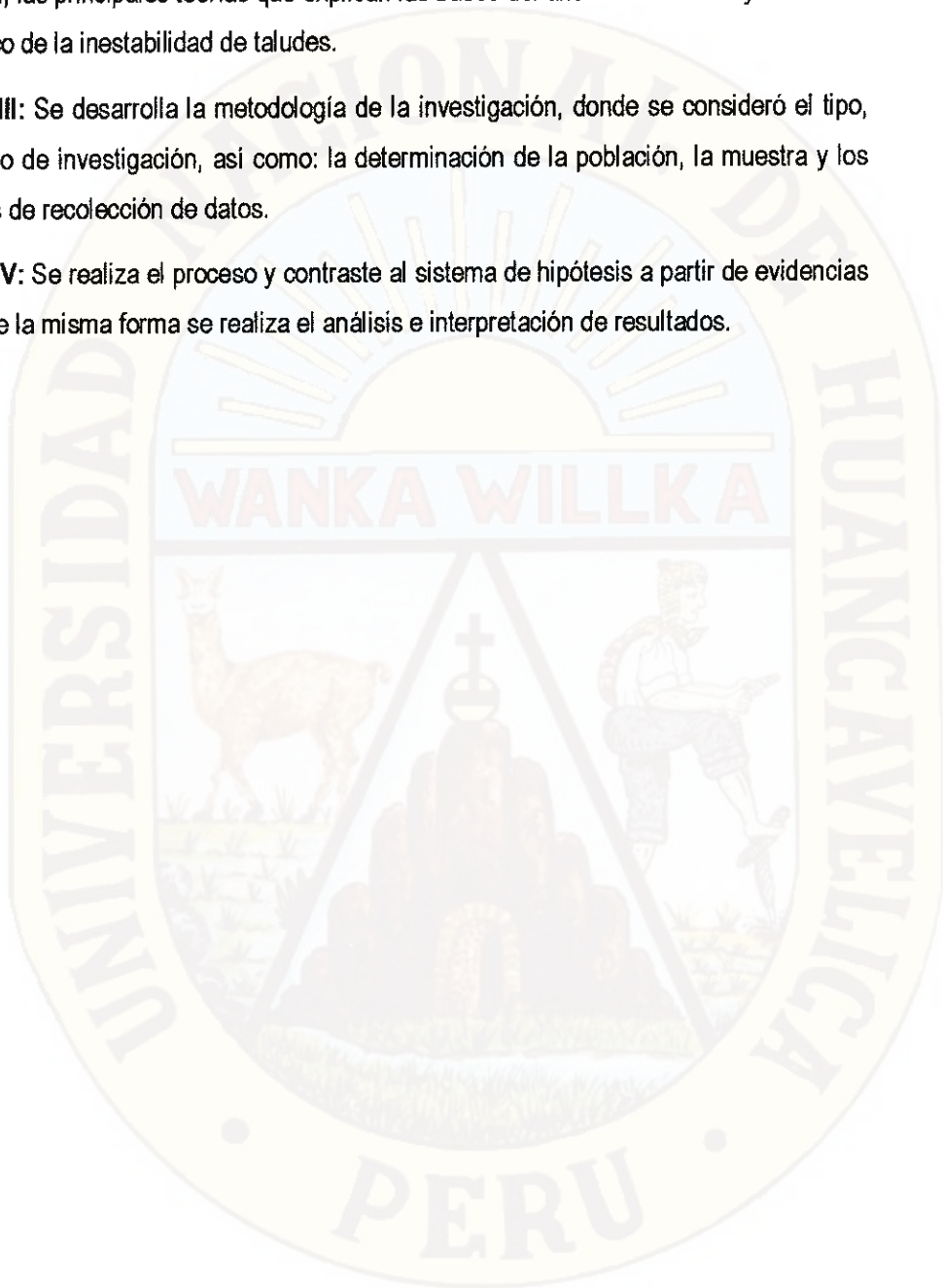
La investigación, se ejecutó bajo los procedimientos del método de investigación científica, que se inicia en la identificación y diagnóstico de la zona de estudio, en el que se diferencian las variables de estudio (variable dependiente e independiente), que son sometidos a métodos de análisis. Por lo que, en la fase preliminar del estudio, se empleó fuentes bibliográficas. La siguiente fase se caracterizó por ser un estudio técnico, bajo los procedimientos y métodos propios para la toma de muestras y su posterior análisis en laboratorios especializados como: Laboratorio en Control de Calidad de Mecánica de Suelos, (Ministerio de transportes y Comunicaciones) para la caracterización física. Con la finalidad de garantizar y dar credibilidad a los resultados para su análisis e interpretación de resultados.

El capítulo I: Comprende: problema, formulación del problema, justificación e importancia de la investigación, limitaciones y objetivos de la investigación.

El capítulo II: Comprende el marco teórico, donde se considera los antecedentes de la investigación, las principales teorías que explican las bases del análisis heurístico y el análisis determinístico de la inestabilidad de taludes.

El capítulo III: Se desarrolla la metodología de la investigación, donde se consideró el tipo, nivel y diseño de investigación, así como: la determinación de la población, la muestra y los instrumentos de recolección de datos.

El capítulo IV: Se realiza el proceso y contraste al sistema de hipótesis a partir de evidencias obtenidas, de la misma forma se realiza el análisis e interpretación de resultados.



CAPÍTULO I

PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Región de Huancavelica Presenta una topografía muy irregular con pendientes inclinadas con prominencias y depresiones, Por ello los taludes suelen a deslizarse debido a los factores como cargas externas, propiedades del suelo, nivel freático alto, haciendo colapsar obras de grande magnitud como vías de comunicación, sistemas de captación, viviendas, etc.

A todo esto, se suma las pérdidas económicas y humanas que se producen por deslizamientos imprevistos provocados por modificaciones de suelos, por suelos débiles que tienen poca resistencia, por falta de información y presupuesto para tomar medidas que ayuden a la estabilización de taludes.

Existen zonas en las cuales los deslizamientos están presentes en cualquier momento, ya sea este por las propiedades de los suelos o por agentes externos como drenajes deficientes, cargas excesivas, sismos, o por el simple hecho de la meteorización que está presente en los cambios del talud. Por estas condiciones nos vemos en la necesidad de aportar con conclusiones sobre la estabilidad de talud que fortalezcan de alguna manera la forma de pensar de autoridades que no ponen la importancia que se merecen estas estructuras y así podemos reducir los estragos que producen los deslizamientos.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En el presente proyecto de investigación, nos proponemos a estudiar y analizar la estabilidad estructural del talud, para determinar el factor de seguridad adecuada para así proponer las medidas de prevención y control que tiene como finalidad, reducir los niveles de amenaza y riesgo, ocasionados por la inestabilidad de talud situados en la zona de estudio.

De esta manera que este fenómeno natural como situación problemática amerita a ser atendida, a través del estudio in situ; por lo tanto, la presente investigación tiene como objetivo responder la siguiente interrogante.

PROBLEMA GENERAL:

¿Cuál es el factor de seguridad de talud mediante el análisis dinámico por elementos finitos en la zona de Huayllapampa del distrito de cuenca – Huancavelica en el año 2016?

1.2.1. PROBLEMAS ESPECÍFICOS:

- ¿Cuáles son los factores internos determinantes que intervienen en la estabilidad de talud en la zona de Huayllapampa del distrito de cuenca – Huancavelica en el año 2016?
- ¿Cuáles son los factores externos más determinantes para determinar la estabilidad de talud en la zona de Huayllapampa del distrito de cuenca – Huancavelica en el año 2016?
- ¿Cuáles son los excesos de presión de poros y las posibles zonas de licuefacción que establezca garantizar la máxima seguridad para situaciones de riesgo en la zona de Huayllapampa del distrito de cuenca – Huancavelica en el año 2016?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar el factor de seguridad de talud mediante el análisis dinámico por elementos finitos en la zona de Huayllapampa del distrito de cuenca – Huancavelica en el año 2016

1.3.2. OBJETIVO ESPECÍFICOS

- Determinar son los factores internos determinantes que intervienen en la estabilidad de talud en la zona de Huayllapampa del distrito de cuenca – Huancavelica en el año 2016.
- Determinar los factores externos más determinantes para determinar la estabilidad de talud en la zona de Huayllapampa del distrito de cuenca – Huancavelica en el año 2016.
- Determinar los excesos de presión de poros y las posibles zonas de licuefacción que establezca garantizar la máxima seguridad para situaciones de riesgo en la zona de Huayllapampa del distrito de cuenca – Huancavelica en el año 2016.

1.4. JUSTIFICACIÓN

Dentro de la región de Huancavelica la realidad social es el reflejo en los diferentes aspectos, predominante en la zonificación urbana tanto como rural que conllevan a una desordenada expansión donde la mayor parte se sitúan en zonas muy vulnerables; esto a consecuencia de la geomorfología muy accidentada que presenta nuestra región. El Perú es el tercer país más vulnerable a los riesgos climáticos del mundo,

Este proyecto tiene la finalidad de determinar el Factor de Seguridad de la Talud Analizada sometida a sismos de diseño para luego buscar alternativas de solución y por ende mejorar la estabilidad de las estructuras frente a las amenazas de la geotécnica en especial en la estabilidad de los taludes en la zona de Huayllapampa en distrito de Cuenca – Izcuchaca-Huancavelica, esto con el fin de reducir los riesgos de destrucción que se generan a causa de los diferentes aspectos que determinan las fallas geotécnicas. De modo que es necesario identificar las zonas de riesgo, claro ejemplo se tiene como antecedente a raíz del desastre producido en el distrito de Cuenca con la caída de un talud que ocasionó el embalse del río Mantaro en el año 2014, dejando a Huancavelica incomunicada con otras regiones como Lima y Junín, tras la caída de 200 metros de la carretera que une Huancayo-Huancavelica-Ayacucho a la altura del distrito de Izcuchaca., en ello se evidencio significativas pérdidas económicas y materiales afectando la seguridad y bienestar de las familias asentadas en el sector.

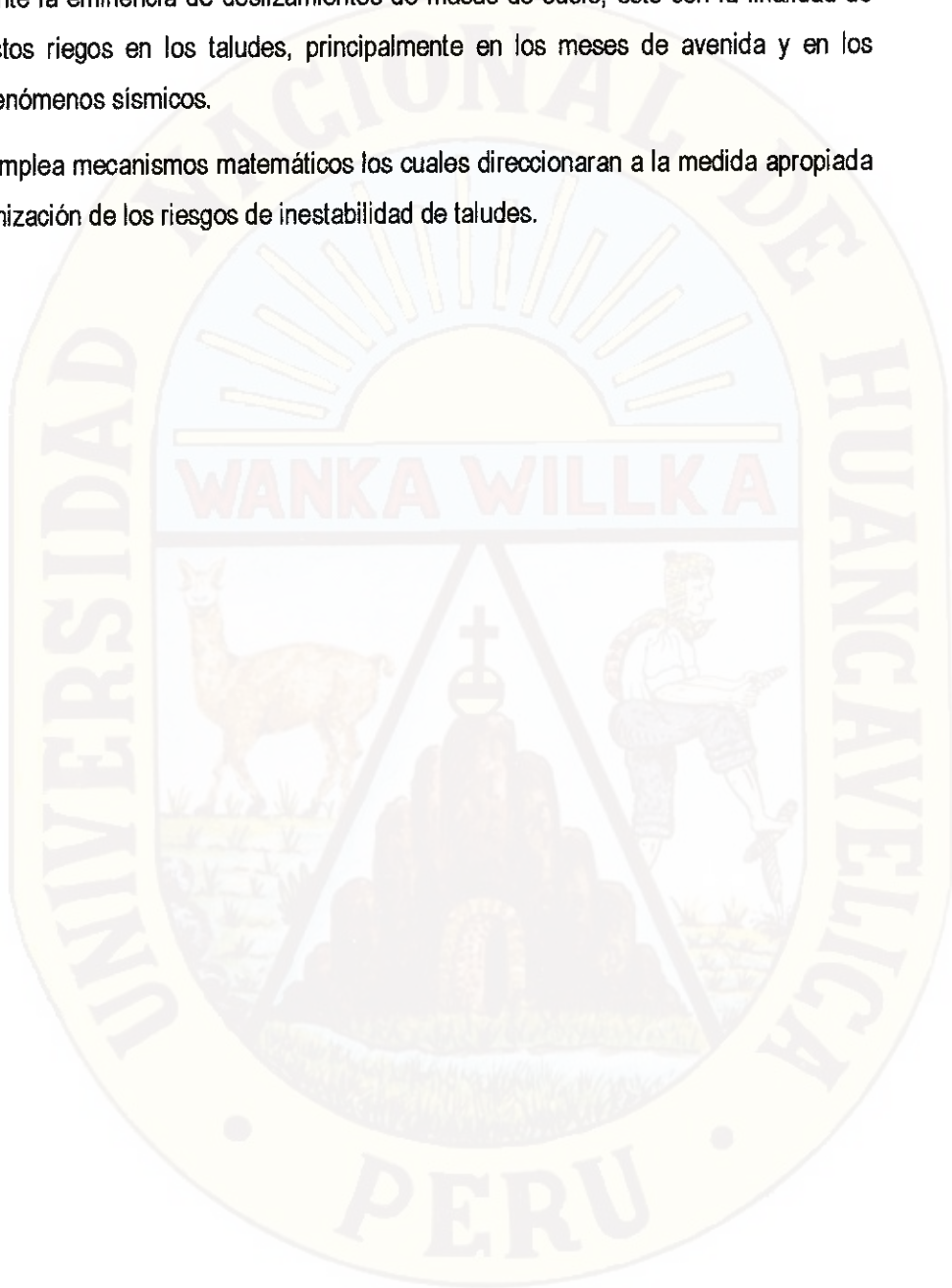
Hasta la fecha se tiene una débil gestión; concretamente a los mecanismos de riesgo que controlen estas condiciones, así como la ausencia de sistemas de urbanización y ordenamiento catastral, además de otros deslizamientos que se vienen registrando en diversos lugares de modo que es necesario identificar las zonas de riesgo dentro de la zona.

En relación a los fenómenos naturales que se precisa en la referencia se tiene antecedentes se define a este sector como zona de riesgo por las características geológicas y topográficas que intervienen en la estabilidad de talud presentes. Motivo por el cual teniendo como punto de partida las conclusiones de la referencia se realizó el estudio de investigación, bajo los criterios de: tipo de suelo, topografía, geología y geomorfología; todo ello para identificar el factor de Seguridad por consiguiente se utilizara el Método de los Elementos Finitos que es el más apropiado para el análisis dentro del contexto respectivo, esto con el propósito de determinar los sistemas de estabilización para la corrección de fallas que propicien la inestabilidad en los taludes.

1.5. RELEVANCIA

La investigación tiene por finalidad garantizar la seguridad ante los riesgos de la naturaleza ante la eminencia de deslizamientos de masas de suelo, esto con la finalidad de minimizar estos riesgos en los taludes, principalmente en los meses de avenida y en los eventuales fenómenos sísmicos.

Se emplea mecanismos matemáticos los cuales direccionaran a la medida apropiada para la minimización de los riesgos de inestabilidad de taludes.



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. A NIVEL INTERNACIONAL:

(Revista de Ingeniería Dyna 2006 - Publicaciones DYNA) "SIMULACION DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES EN SUELOS". Órgano Oficial de Ciencia y Tecnología de la Federación de Asociaciones de Ingenieros Industriales - Bilbao SPAIN. Este estudio presenta una metodología nueva para simular y evaluar mediante ordenador la estabilidad de los taludes en suelos, a partir de su composición y forma geométrica. Comienza con una toma de datos geotécnicos que definen las características estructurales y geométricas del talud, así como el estado de cargas exterior que soporta. Aplica la formulación iterativa del Método de Bishop y calcula puntos en el espacio tridimensional, cuya tercera componente representa el coeficiente o factor de seguridad del talud. Con este conjunto de puntos dato, y mediante la aplicación del modelo de simulación, se calculan y dibujan las "líneas de isoseguridad". Durante este proceso se obtiene el valor del factor de seguridad crítico o mínimo del talud en estudio, se asigna de nuevo esta magnitud al método propuesto, para determinar el trazado de superficies de deslizamiento próximas entre sí, que definen su banda de rotura. Este método es susceptible de aplicación a la resolución de problemas de estabilidad de taludes en suelos en Ingeniería Civil.

(Luis Javier Escobar Toro, Yamile Valencia González), "ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y PROBABILIDAD DE FALLA DE DOS TALUDES DE SUELO TROPICAL EN LA AUTOPISTA MEDELLÍN - BOGOTÁ EN EL TRAMO DE VÍA ENTRE MARINILLA Y SANTUARIO". Boletín De Ciencias De La Tierra Issn 0120- Medellín Colombia - 2015. En la práctica de la ingeniería, es común definir la estabilidad de un talud en términos de un Factor de Seguridad (F.S.), obtenido de un análisis matemático determinístico; cuyos modelos, deben tener en cuenta la mayoría de los factores que afectan la estabilidad, como son la geometría del talud, parámetros geológicos, cargas

dinámicas por efecto de los sismos, flujos de agua, propiedades del suelo, etc. Es por esto, que el presente estudio evalúa la estabilidad para diferentes inclinaciones, de dos taludes de suelos de origen tropical en Medellín - Bogotá, aplicando métodos probabilísticos, que estiman no solo el Factor de seguridad, si no la probabilidad de falla, el índice de confianza y el parámetro del suelo de mayor peso en la estabilidad; con el fin de determinar el talud de corte más seguro en la ejecución de este tramo de vía

Los primeros cálculos analíticos de la estabilidad de taludes fueron realizados por Coulomb en el siglo XVIII (1785) al desarrollar un método mediante cuñas, el cual estaba enfocado al estudio de la estabilidad de muros, pero también podía ser utilizable en taludes desnudos, las construcciones de líneas férreas en el siglo XIX obligaron a realizar grandes movimientos de tierras, lo cual trajo como consecuencia la aparición de importantes deslizamientos, es por eso que surgió la necesidad de encontrar un método para calcular estos deslizamientos, para así poder prevenirlos pero no es hasta la primera mitad del siglo XX, cuando se puede hablar de métodos analíticos, los cuales han servido de base a los utilizados actualmente Por el año 1910, Fellenius desarrolla el método de las cuñas, mientras que en 1916 se utilizó por vez primera el método de las dovelas, pero solo para suelos no cohesivos. Sólo 20 años después, se logra utilizar la misma metodología, tanto para suelos con cohesión, como para los que tienen fricción interna. Posteriormente, en esta metodología fue introducido el Principio de las Presiones Efectivas, definido por Terzaghi en 1926. Sin embargo, los métodos considerados modernos se iniciaron en 1954 con el Método de Bishop, el cual considera superficies de falla circulares; y en 1956 con el de Janbu, para superficies de falla no circulares. En sus inicios, la realización de los cálculos al utilizar estos métodos era demasiado compleja; más aún después de la sofisticación de éstos, con lo cual se hizo casi utópica su aplicación práctica, hasta que, con la aparición de la computadora, metodologías consideradas antes casi imposibles, como la basada en los elementos finitos se convirtieron en una rutina. En la actualidad, existen en el mercado numerosos programas de cómputo, los cuales cubren las necesidades profesionales tanto para el análisis de equilibrio límite como para el análisis esfuerzo-deformación. Los programas de cómputo que se emplean habitualmente en la actualidad, suelen utilizar las metodologías de Bishop y Janbu, así como también algunos métodos conocidos como rigurosos o exactos; estos últimos principalmente son los métodos de Spencer, Morgentern y Price, y Sarma, que probablemente son los más experimentados. Más

abajo se presenta una breve descripción de estos métodos, aunque sin entrar en las formulaciones específicas de cada uno. En la actualidad, se está tratando de desarrollar métodos que pueden llegar a ser realmente exactos, siempre y cuando se lleguen a salvar las dificultades que hoy plantea el cálculo analítico de soluciones de modelos de falla complejos. Estos métodos son los basados en los teoremas de estados límites, de la Teoría del Sólido Plástico

2.1.2. A NIVEL NACIONAL:

(Urritia Verese, 2008), “ANÁLISIS DINÁMICO DE ESTABILIDAD POR ELEMENTOS FINITOS DE TALUDES DE LA COSTA VERDE EN EL DISTRITO DE MIRAFLORES”. Tesis para Optar el Título de Ingeniero Civil de Ciencias de Ingeniería. Pontificia Universidad Católica del Perú. Que, debido a la alta actividad sísmica de la costa peruana, a la magnitud de los eventos sísmicos que se presentan; se plantea como objetivo un análisis dinámico de estabilidad de los taludes de la costa verde en el distrito de Miraflores mediante el método de elementos finitos, para lo cual se utilizó el programa GeoStudio 2004 V6.2, en el cual el tipo de investigación es descriptivo-Explicativo, en una muestra de 04 secciones de talud.

Los resultados que se dieron en dicho análisis fue que el factor de seguridad siempre fue 1 (uno) y que en ningún momento del sismo cae por debajo de este valor, del cual que se puede concluir que los taludes son estables bajo las condiciones analizadas; es decir para los parámetros geotécnicos asumidos para los materiales, la geometría modelada y los registros sísmicos utilizados.

(Granado López, 2006), “ESTABILIDAD DEL TALUD DE LA COSTA VERDE EN LA ZONA DEL DISTRITO DE BARRANCO”, Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil. Facultad de Ciencias de Ingeniería. Pontificia universidad Católica del Perú.

El cual presenta como objetivo desarrollar el análisis de estabilidad de taludes, así como una solución para estabilizar bajo las condiciones críticas de un sismo en un tramo de 560m de longitud del talud de costa Verde- Distrito de Barranco.

El resultado obtenido demuestra que el tramo en estudio fallaría en condiciones sísmicas importantes (aceleración del suelo mayores a 0.27g),

exponiéndose en grave peligro vidas humanas, propiedades que recientemente están contruidos a un promedio de 20m del pie del talud, por lo que es necesario proponer soluciones de estabilización del talud de la Costa Verde en las zonas que lo requieran luego de un estudio minucioso.

(Pacheco Zapata, 2006), “ESTABILIZACIÓN DE TALUDES DE LA COSTA VERDE EN EL DISTRITO DE SAN ISIDRO”. Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil. Facultad de Ciencias de Ingeniería. Pontifica Universidad Católica del Perú. El ovejito que se planteó como objetivo fue analizar el problema y presentar alternativas de solución y el diseño de ingeniería, para un tramo de 500m de los taludes de la Costa Verde en la zona del Distrito de San Isidro, cuyo análisis se efectuó en condiciones estáticas y dinámicas, analizando las alternativas de solución para los distintos problemas, tratando de minimizar los costos de la obra de mejoramiento. En él se realizó un tipo de investigación: Descriptivo-Explicativo en una muestra de 08 (ocho) secciones de talud.

Los análisis concluyeron que las zonas en buenas condiciones son la zona 5 (cinco) y la zona 6 (sies) por tener un factor de seguridad mayor a 1 (uno) y las zonas 1 (uno), 2 (dos), 3 (tres) y 4 (cuatro) están en malas condiciones por lo que se necesitaran hacer trabajos se seguridad y/o prevención por lo que presenta un factor de seguridad menor a 1 (uno). Es por ello que se plante como una alternativa de solución el uso de muros ASTM C915 (Crib Walls), esto por razones económicas de carácter constructivo y de impacto ambiental.

2.1.3. A NIVEL REGIONAL

(Vilchez Mata, 2010), “INSPECCIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN LOS SECTORES DE SANTA BARBARA EN EL DISTRITO Y PROVINCIA DE HUANCAMELICA”, Informe Técnico. Área de Geología Ambiental del Instituto Geológico Y Minero Metalúrgico – INGEMMET. El cual describe la inspección realizada en los sectores de Santa barbara. En cual concluye que vulnerabilidad a los movimientos en masa (peligros geológicos) en la zona es muy alta por lo cual se desconoce el factor de seguridad ante deslizamientos.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. ESTABILIDAD DE TALUDES

La estabilidad de taludes puede ser abordado desde distintos aspectos. Cuando se habla de estabilidad, se trata de encontrar la altura crítica del talud o la carga de colapso aplicada sobre una porción del talud, para una geometría y características de suelo dados. Evaluar la estabilidad de un talud implica un estudio en el cual se debe, entre otros eventos: caracterizar la resistencia del suelo, establecer el perfil del talud, así como las condiciones de filtración y agua subterránea, seleccionar una superficie de deslizamiento o falla y calcular su factor de seguridad, finalmente, a partir de este factor de seguridad (el cual se elige en base al destino del talud) se deberá determinar la superficie de falla crítica.

Más allá del problema de la modelación material del suelo, está presente el problema del estudio de los criterios de evaluación de sistemas estructurales. En este sentido es necesario, una vez calibrados y verificado la capacidad predictiva de los modelos computacionales desarrollados, Llevar a cabo el análisis computarizado de sistemas estructurales que involucren complejidades relevantes, frente a acciones estáticas y dinámicas a fin de contribuir al avance del conocimiento en lo referente a la formulación de criterios de diseño más eficientes y realistas. Dentro de este marco, se estudió el comportamiento de suelos.

Los métodos para evaluar cuantitativamente la estabilidad de los taludes son diversos. Los llamados de equilibrio límite están basados en el método de las dovelas, en el cual la masa de suelo se divide en porciones o dovelas. Se asume condiciones de equilibrio estático para una superficie de deslizamiento supuesta y se busca la superficie de deslizamiento crítica para la cual el factor de seguridad es mínimo. La diferencia entre los distintos métodos de equilibrio límite radica en las simplificaciones para reducir la indeterminación de las fuerzas entre las dovelas.

Es así como surgen métodos para suelos granulares y métodos para suelos cohesivos, aquellos que utilizan una superficie de falla circular: el de las dovelas, Fellenius (1936) y Bishop (1955) y fallas no circulares: Janbu et al. (1956), del talud infinito, y los métodos que utilizan tablas. También podemos dividir a los métodos de equilibrio límite de acuerdo a las ecuaciones de equilibrio que satisfagan. El método de

las Dovelas, el de Bishop y el "sueco modificado" no satisfacen todas las ecuaciones de equilibrio estático. Los métodos como el de Morgenstern y Price (1965) y el de Spencer (1967) satisfacen todas las ecuaciones de equilibrio. Éstos últimos son referidos como métodos de equilibrio completo".

Durante las últimas dos décadas se han propuesto muchos métodos para analizar la estabilidad de taludes mediante elementos finitos. Entre aquellos métodos, el de incremento de la gravedad y el de reducción de resistencia, están considerados como los más ampliamente usados. En el método de incremento de la gravedad, las fuerzas gravitatorias son incrementadas en forma gradual hasta que el talud falla, aquí el factor de seguridad se define como la relación entre la aceleración gravitacional en la falla (g_f) y la aceleración gravitacional actual (g). En el método de reducción de resistencia, los parámetros de resistencia del suelo son reducidos hasta que el talud se vuelve inestable, por lo tanto, el factor de seguridad se define como la relación entre el parámetro de resistencia inicial y el parámetro de resistencia crítica. El método de incremento de la gravedad se usa para estudiar la estabilidad de terraplenes durante su construcción, debido a que proporciona resultados más confiables, mientras que el método de la reducción de resistencia se usa para estudiar la estabilidad de taludes existentes.

Se debe tener presente que aún hoy en día los métodos de resolución por análisis por elementos finitos se encuentran en desarrollo y evaluación permanente, dado que todavía se estudian diversos factores y modelos para utilizar en este tipo de análisis. La normativa norteamericana determina que el uso de los elementos finitos no se justifica para el sólo propósito de calcular el factor de seguridad, sino que su uso debe servir para obtener también desplazamientos y tensiones causadas por las cargas aplicadas, dado el esfuerzo y tiempo que este análisis requiere.

El método de los elementos finitos es una herramienta computacional muy potente en ingeniería. Adquiere su poder de la capacidad de simular comportamientos físicos usando herramientas computacionales sin la necesidad de simplificar el problema, obteniéndose resultados más precisos y confiables. Actualmente, nuevos métodos de análisis propuestos en ingeniería pueden verificarse usando el método de los elementos finitos como punto de referencia.

Los problemas en la estabilidad de taludes resueltos usando el método de elementos finitos tienen dos importantes distinciones con los métodos de equilibrio límite original. Primero, la ecuación de la estabilidad del talud por elementos finitos es determinada; por lo tanto, no es necesario que se hagan suposiciones para poder completar los cálculos. Segundo, la ecuación del factor de seguridad es lineal, porque la tensión normal en la base de la faja es conocida. Por otro lado, los métodos de equilibrio límite, empezando por el método simplificado de Bishop, han usado un factor de seguridad estimado para computar la fuerza normal en la base de la faja, hallando el factor de seguridad final a través de procesos iterativos.

El método de los elementos finitos puede usarse para estudiar la estabilidad de taludes usando una definición de falla similar a la de los métodos de equilibrio límite, éstos proponen en principio una superficie de deslizamiento para luego examinar el valor del coeficiente de seguridad de la misma, el cual se define como la relación entre la resistencia al corte disponible y la resistencia al corte movilizador a lo largo de la superficie.

2.2.2. MODOS DE FALLA¹

Existen diversos modos en los que un talud puede fallar; para fines de este trabajo haremos una breve descripción de los modos de falla más comunes, aunque debe considerarse que muchas veces las fallas ocurren como una combinación de los mismos.

2.2.2.1. FALLA POR DESLIZAMIENTO SUPERFICIAL

Cualquier talud está sujeto a fuerzas naturales que tienden a hacer que las partículas y porciones de suelo próximas a su frontera deslicen hacia abajo; el fenómeno es más intenso cerca de la superficie inclinada del talud a causa de la falta de presión normal confinante que allí existe.

Como una consecuencia, la zona mencionada puede quedar sujeta a un flujo viscoso hacia abajo que, generalmente, se desarrolla con extraordinaria lentitud.

¹ Artemio Cuenca Payá; "Comentarios sobre el cálculo de taludes"; Laboratorio de Carreteras de Alicante; 2001.

El desequilibrio puede producirse por un aumento en las cargas actuantes en la corona del talud, por una disminución en la resistencia del suelo al esfuerzo cortante o, en el caso de laderas naturales, por razones de conformación geológica que escapan a un análisis local detallado. La Figura .09 ilustra este modo de falla.



Imagen² 1 Esquema de Una Falla por Deslizamiento

Este fenómeno es muy frecuente y peligroso en laderas naturales, y generalmente abarca grandes áreas, asimismo éste se pone de manifiesto ante la vista debido a las inclinaciones de elementos verticales que se encuentran en las laderas como son árboles, postes, etc.; otra manifestación es la acumulación de suelos en las depresiones y valles y la falta de los mismos en las zonas altas.

2.2.2.2. DESLIZAMIENTOS SOBRE SUPERFICIES DE FALLA PREEXISTENTES

Estos deslizamientos usualmente se producen lentamente, es por eso que pasan inadvertidos; la mayor parte de estos movimientos están asociados a ciertas estratigrafías favorables a ellos, al mismo tiempo que a flujos estacionales de agua en el interior de la ladera. La Figura 10 ilustra este modo de falla.

Este ocurre frecuentemente en las laderas formadas por depósitos de talud sobre otros materiales firmes estratificados, que tienen aproximadamente la misma inclinación, es por eso que las superficies de fallas que se forman son prácticamente planas, ya que están formadas entre los depósitos estratificados y los materiales depositados recientemente.

² Juárez, E. y Rodríguez, R.; "Mecánica de Suelos" – Tomo I y II, Editorial Limusa, II edición - V reimpresión; 1984.

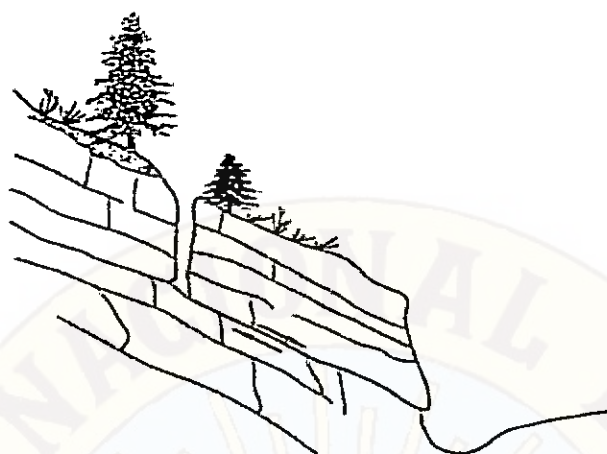


Imagen 32 Esquema de una Falla Sobre Superficies de Falla

Este tipo de falla se presenta en suelos cohesivos, donde las fuerzas gravitacionales, actuando por largo tiempo, producen deformaciones grandes, que llegan a generar la superficie de falla; una vez que esta ya se formó la resistencia a lo largo de esta corresponde a la resistencia residual de los materiales en contacto.

2.2.2.3. FALLA POR MOVIMIENTO DEL CUERPO DEL TALUD

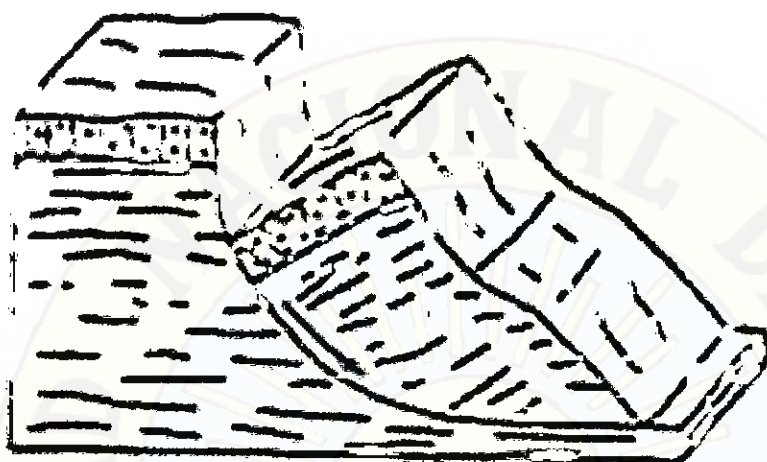
En este modo de deslizamiento se forma una superficie de falla curva, a lo largo de la cual se genera el movimiento del talud; a este modo de falla se le llama por rotación. Figura 3.

Existen también otras fallas de este mismo tipo, en las cuales el movimiento ocurre a lo largo de superficies débiles, las cuales pueden estar en el cuerpo del talud o en su terreno de fundación; estos planos débiles suelen ser horizontales o muy poco inclinados respecto a la horizontal; a este tipo de falla se les llama por traslación.

Las fallas por rotación pueden presentarse pasando la superficie de falla por el pie de talud, sin interesar el terreno de fundación o pasando a través de éste, afectando el terreno de cimentación o base de talud; además, también

³ Ramos F., Á.; "Manual de estabilización y revegetalización de taludes"; 1993.

se pueden presentar fallas locales las cuales afectan al cuerpo del talud, pero en zonas relativamente superficiales.



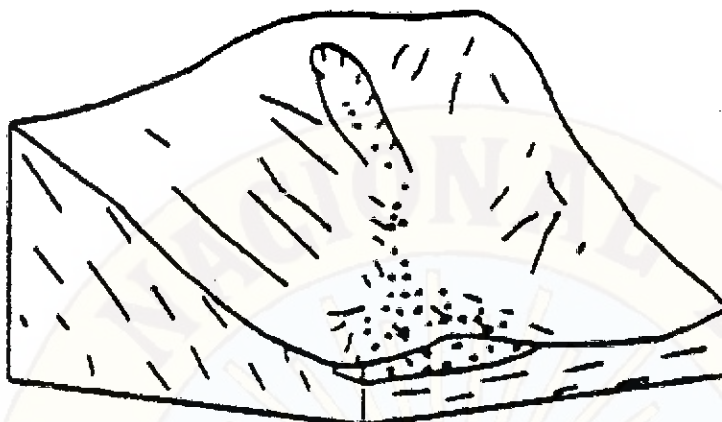
Imagen⁴ 3 Esquema de una Falla por Movimiento del Cuerpo

2.2.2.4. FLUJOS

Estas fallas consisten en movimientos más o menos rápidos de zonas localizadas de una ladera natural, de manera que el movimiento en si y la distribución aparente de las velocidades y los desplazamientos asemejan el fluir de un líquido viscoso. No presentan superficie de falla, o ésta se desarrolla en un lapso muy breve al inicio del fenómeno.

Estos desplazamientos pueden ocurrir en cualquier formación no cementada, desde fragmentos de roca, hasta arcillas; suceden tanto en materiales secos, como húmedos. Muchos flujos rápidos en materiales secos ocurren asociados a fenómenos de presión de aire, en los que este juega un papel análogo al del agua en los fenómenos de licuación de suelos; mientras que otros fenómenos, en suelos muy húmedos son verdaderos procesos de licuación.

⁴ Ángel Ramos Fernández, 1993 – Manual de estabilización y revegetalización de taludes.



Imagen⁵ 4 Esquema de Flujos

2.2.2.5. FALLAS POR EROSION

Estas son también fallas de tipo superficial provocadas por arrastres de viento, agua, etc., en los taludes. El fenómeno es tanto más notorio cuanto más empinadas sean las laderas de los taludes. Una manifestación típica del fenómeno suele ser la aparición de irregularidades en el talud, originalmente uniforme.

Desde el punto de vista teórico esta falla suele ser imposible de cuantificar detalladamente, pero la experiencia ha proporcionado normas que la atenúan grandemente si se les aplica con cuidado.

2.2.2.6. FALLA POR LICUACION

Estas fallas ocurren cuando en la zona del deslizamiento el suelo pasa rápidamente de una condición más o menos firme a la correspondiente a una suspensión con pérdida casi total de resistencia al esfuerzo cortante. El fenómeno puede ocurrir tanto en arcillas extrasensitivas como en arenas poco compactas saturadas ante la acción de un movimiento sísmico severo.

⁵ Ángel Ramos Fernández, 1993 – Manual de estabilización y revegetalización de taludes.

2.2.3. PRESIÓN DE POROS

Cuando se aplica un esfuerzo externo a una masa de suelo cuyos poros están saturados de agua, el efecto inmediato es un aumento de la presión de poros, lo cual hace que el agua en los poros fluya hacia fuera de estos a través de los vacíos circundantes, con el resultado de que la presión de poros disminuye y el esfuerzo aplicado se transfiere a la estructura granular del suelo. Esta transferencia puede ser rápida, como en el caso de los suelos granulares y ocurrir poco tiempo después de la aplicación, con lo cual el esfuerzo total aplicado quedará equilibrado por los dos componentes del esfuerzo interno; sin embargo, en suelos de baja permeabilidad como las arcillas esta transferencia de presión puede durar mucho tiempo, lo que origina el fenómeno de consolidación.

Por lo tanto, se puede decir que la presión de poros (μ), es aquella presión inducida en el fluido (ya sea agua o vapor de agua) que llena los poros; el fluido en los poros es capaz de transmitir esfuerzos normales, pero no esfuerzos cortantes, por lo que no puede proporcionar resistencia al corte; es por esta razón que a la presión de poros se le llama algunas veces presión neutra.

Conociendo el concepto de presión de poros, podemos definir al esfuerzo efectivo (σ') como aquel que es transmitido a través de la estructura sólida del suelo por medio de contactos intergranulares; se trata del componente del esfuerzo que es efectivo para controlar tanto la deformación debida a los cambios de volumen como la resistencia al corte del suelo, puesto que el esfuerzo normal y el esfuerzo cortante se transmiten a través de los contactos grano a grano. Se ha demostrado que, para un suelo saturado, el esfuerzo efectivo puede definirse en forma cuantitativa como la diferencia entre el esfuerzo total (σ) y la presión de poros (μ).

$$\sigma' = \sigma - \mu$$

Sin embargo, este esfuerzo efectivo no es el esfuerzo real de contacto de contacto de grano a grano, sino el esfuerzo promedio intergranular en un área plana dentro de la masa de suelo.

La presión de poros influye en la resistencia del suelo, teniendo diferentes efectos, dependiendo del tipo de suelo del que se trata. A continuación, se describe la influencia que la presión de poros tiene en cada tipo de suelo.

En el caso de las arcillas duras y altamente sobre consolidadas éstas fallan bajo una condición drenada, porque el exceso de la presión de poros es negativo y por lo tanto a medida que ésta se disipa, las arcillas sobre consolidadas se debilitan.

Las arcillas blandas y limos fallan en condiciones no drenadas porque el exceso de presión de poros es positivo y por lo tanto la condición crítica es a corto plazo, pues a medida que las arcillas disipan el exceso de presión de poros, las mismas se consolidan y ganan resistencia. La mayoría de suelos granulares disipan el exceso de presión de poros rápidamente debido a su alta permeabilidad y por lo tanto fallan en condiciones drenadas excepto cuando son sometidos a carga dinámica (sismos), cuando una falla drenada no es posible.

2.2.4. ANÁLISIS EN ZONAS SÍSMICAS⁶

Cuando ocurre un evento sísmico, los taludes se ven sometidos a las siguientes acciones:

- Amplificación de la señal sísmica por efecto del relieve.
- Fuerzas de inercia inducidas por las masas propias.
- Cambio en los parámetros geotécnicos que caracterizan a los materiales; que constituyen el talud.

En los análisis de estabilidad de taludes denominados pseudoestáticos, se considera la influencia de un evento sísmico; la intervención del sismo se da a través de la fuerza sísmica, a la cual se le considera como una fuerza horizontal que actúa sobre la masa de suelo inestable, cuya magnitud es calculada al multiplicar el peso de dicha masa por un factor, denominado coeficiente sísmico. La Figura 02.13 ilustra la formulación de esta metodología.

El coeficiente sísmico dependerá del tipo de sismicidad de la zona. Los valores recomendados en análisis de estabilidad de taludes, cuando se utilizan los métodos de equilibrio límite basado en la mecánica del cuerpo rígido, se muestran a continuación para el Perú:

⁶ Alva, J. (2000), "Análisis de Estabilidad de Taludes", Curso de Actualización Profesional, UNI-FIC, pag. 175-196.

Tabla 01: Coeficientes Sísmicos en Análisis de Estabilidad de taludes⁷

Sismicidad de la Zona	Coeficiente Sísmico
Alta, cercana a la costa peruana o fuente sísmo génica local.	0.17 a 0.22
Media, zona andina y ceja de selva o a 75 Km. de fuente sísmo génica local.	0.10 a 0.17
Baja o Nula, zona de selva baja.	0.00 a 0.10

Una vez que se conoce el coeficiente sísmico la fuerza sísmica simplemente será:

$$P_k = C.W$$

Donde:

P_k : fuerza sísmica. W : peso de la masa de suelo inestable.

C : coeficiente sísmico.

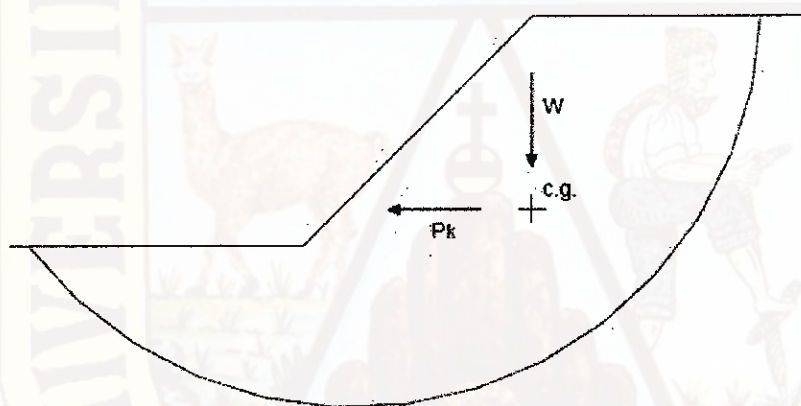


Imagen 5 Formulación del Método Pseudoestático

2.2.4.1. METODO DE NEWMARK

Este procedimiento extiende el análisis sísmico a la consideración de la historia e aceleraciones (acelerogramas) de la masa de deslizamiento. Este acelerograma se selecciona en tal forma que represente un modelo realístico de

⁷RNC; "Reglamento Nacional de Construcciones – Suelos y Cimentaciones E-050"; Lima;

los movimientos del terreno esperados en el sitio y luego se compara con la aceleración límite para determinar los desplazamientos permanentes.

El método de Newmark (1959) asume que existe una superficie de falla bien definida, un material rígido y perfectamente plástico, una pérdida despreciable durante el sismo y la ocurrencia de deformaciones permanentes solamente si el esfuerzo dinámico supera la resistencia al cortante. Adicionalmente, se supone que el talud sólo se deforma hacia abajo.

El procedimiento requiere que previamente se determine el valor de la aceleración crítica k_y , utilizando métodos convencionales de equilibrio límite. La principal dificultad de este método es la selección de un acelerograma apropiado que simule el movimiento del talud; sin embargo, una vez se ha seleccionado el acelerograma, se pueden calcular los desplazamientos permanentes por integración doble de las partes del acelerograma que exceden la aceleración límite para la superficie de falla crítica.

2.2.4.2. METODO DE MAKDISI Y SEED

Makdisi y Seed (1978), trabajaron buscando definir la estabilidad sísmica de los taludes en términos de deformaciones aceptables debido a factores de seguridad convencionales, usando un análisis de Newmark modificado. Este método presenta un medio racional por el cual se determina la aceleración producida o la aceleración promedio requerida para producir un factor de seguridad igual a la unidad.

Este valor es afectado por los esfuerzos cíclicos producidos en los materiales del talud, los cuales resultaron ser aproximadamente el 80% del esfuerzo estático. Las curvas de diseño fueron desarrolladas para estimar las deformaciones permanentes inducidas por un movimiento sísmico en taludes de 100 a 200 pies de altura usando análisis de elementos finitos.

Estos métodos han sido aplicados desde rellenos sanitarios hasta en taludes de carreteras. Una muy pequeña aplicación de este método ha sido realizada a fallas de terreno pre-existentes.

2.2.5. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA INESTABILIDAD DE TALUD

a) LA LITOLOGIA

Desde el punto de vista litológico los materiales se clasifican de acuerdo a su génesis o formación (Abramson, 1996) diferenciándose dos grupos de materiales diversos que son: la roca y el suelo

Cada formación geológica posee una susceptibilidad específica a los deslizamientos y los mapas de inventario de deslizamientos presentan densidades de número o tamaño de los movimientos que son característicos de determinadas áreas dentro de cada formación geológica. Cuando un talud está formado por varios tipos de roca, el comportamiento geotécnico del conjunto es diferente al de cada material por separado

(Martínez. 1998) Refiere que la litología de los materiales flotantes y su grado de alteración condicionara sus características físico-mecánicas y por tanto su estabilidad potencial por lo que el comportamiento variara de unos materiales a otros aun cuando actúen sobre ellos con igual intensidad los mismos factores; los parámetros resistivos dependerán de la composición meteorológica y de la textura, conmutación, tamaño, forma y cimentación de las partículas que formen la roca o sedimento. Por tanto, materiales como sementados, con tamaños de grano fino (limo arcilla o arena limo arcilla), o de un amplio rango granulométrico (derrumbes de ladera) son litológicos más propensas al deslizamiento.

(Castañón Garay, 2011) Algunas fallas de taludes son provocadas por aspectos geológicos no destacados durante el levantamiento y exploración de campo, los cuales al no ser considerados durante la evaluación de la estabilidad de talud aumentan la incertidumbre del factor de seguridad calculado.

Cada litología o formación geológica posee un determinado patrón de comportamiento, por ejemplo: un granito y una caliza bajo condiciones similares, desarrollan características diferentes de perfil geotécnico y presentan un comportamiento diferente de los taludes como resultado de las diversas características de los materiales (permeabilidad, potencial de meteorización, agresividad, etc.). Si el material que conforma el talud es homogéneo, el modelo conceptual es relativamente

sencillo y fácil de interpretar; sin embargo cuando el talud está formado por varios tipos de roca o suelo, el comportamiento geotécnico del conjunto es diferente al de cada material por separado.

En los taludes donde aparecen varios materiales diferentes se debe elaborar un modelo que debe incluir todo los materiales, cada cual con su comportamiento característico, pero al mismo tiempo se debe analizar el comportamiento conjunto de los diversos materiales por ejemplo un material permeable sobre otro menos permeable, puede generar niveles de agua colgados. Un suelo duro puede fallar al cortante o deslizarse al deformarse un material subyacente menos duro. Generalmente en una formación geológica se encuentran varios tipos de material y varios patrones de estructura, los cuales conjuntamente, determinan las características de los deslizamientos.

b) LA ESTRUCTURA GEOLOGICA

(Martínez, 1985) Menciona que "otro aspecto de gran importancia a considerar frente a la estabilidad es la relación y combinación de la disposición geométrica de los materiales aflorantes, con respecto a la orientación, pendiente y altura de la ladera natural (estructuras geológicas). En este sentido deberán observarse las discontinuidades presentes (planos de estratificación, fallas, diaclasas, esquistosidad), atendiendo su inclinación, orientación, número, densidad, naturaleza, y morfología; estas características tienen gran importancia en el caso de materiales rocosos (calicatas, areniscas, etc.). Estas circunstancias se verán favorecidas por la circulación de agua de infiltración a través de las discontinuidades, que pueden actuar durante los periodos de lluvia como superficie de despegue".

c) LA GEOMORFOLOGIA

(Jaime, 2013) define "la geomorfología como el estudio de las formas de la superficie de la tierra, su origen, los procesos relacionados con su desarrollo y las propiedades de los materiales, con lo cual se puede predecir el comportamiento y el futuro estado"

Para elaborar el modelo del comportamiento de un talud es determinante analizar la geomorfología y su efecto sobre los procesos de inestabilidad; los procesos

actuales y pasados son la base para los procesos que van a ocurrir. Las condiciones geomorfológicas presentes son esenciales en el análisis de la ocurrencia de deslizamiento, debido a que el proceso de vertiente son parte integral de los procesos dinámicos como variables que controlan la evolución de los paisajes. La geomorfología refleja los procesos que están actuando sobre el talud, así como los paleoprocesos que lo han afectado en el pasado y su relación con la litología y otros elementos constitutivos de un talud en particular, sino de todo el ambiente de una zona.

d) PENDIENTE Y RELIEVE

(Martínez, 1998) Refiere que: "La pendiente topográfica y la altura de las laderas son factores que condicionan el desarrollo de procesos de deslizamiento por su contribución a la inestabilidad de los materiales; tanto es así parámetros utilizados sistemáticamente en la mayoría de los métodos de cálculo de estabilidad de taludes. En terrenos homogéneos, cada tipo de material tendrá una altura crítica y un ángulo máximo, a partir de los cuales se producirá un desequilibrio gravitacional siendo la posible rotura, no obstante, en zonas muy húmedas la morfología no tiene por qué ser muy abrupta para materiales arcillosos debido a la saturación pueden generar movimientos rápidos, de tipo flujo, con velocidad considerable. Las características morfológicas de la ladera aumentan o disminuirán su equilibrio ya que estas son además el resultado de un proceso evolutivo, nos servirán también como indicadores de inestabilidad. Una topografía abrupta con valles profundos, grandes diferencias de altura entre vaguadas, alto gradiente hidráulico, relieve esparcado, red de drenaje densa y encajada, formas acarcavadas y laderas con morfología cóncava, es indicativa de zonas de alto potencial de inestabilidad. De este modo mediante la combinación de determinados índices morfológicos y morfométricos del terreno, tales como la morfología, altura y pendiente topográfica, la superficie y longitud de la cuenca superficial y de los conos de deyección, etc., se han desarrollado métodos para determinar la susceptibilidad de rotura de una ladera".

e) COBERTURA VEGETAL

(Martínez, 1998) En el trabajo relacionado a los estudios de litología, aprovechamiento de rocas industriales y riesgo de deslizamiento en la comunidad

valencia refiere que" Este es un factor controvertido, tanto en su uso como como parámetro a intervenir en la estabilidad, como en el papel que desempeña. Esto es debido tanto a las distintas circunstancias que se producen en la presencia de la amplia variedad de especies vegetales existentes, dentro de los cuales algunas tienen un marcado carácter estacional, como a los efectos que en ellas se manifiestan. Aunque es el factor menos constante de los hasta ahora reseñados y no llega ser determinante para la estabilidad global de una masa de terreno, si condiciona la forma la acción de otros factores. El efecto positivo que produce la vegetación es el de mantener la estabilidad superficial del terreno y evitar su degradación, ya que las raíces cohesionan las partículas del suelo y disminuyen la disgregación de los niveles superficiales. La presencia de una cobertura vegetal también favorece el drenaje por la absorción del agua superficial del terreno, al tiempo que disminuye el efecto producido por la erosión hídrica. Como contribución negativa, está la producida el efecto de cuña realizado por algunas raíces al desagregar el suelo, provocando los consiguientes efectos mecánicos en grietas y facturas.

f) EL AFECTO ANTRÓPICO

(Campos, 2011) "La inestabilidad de laderas puede ser producida por la actividad humana al alternar y modificar el equilibrio que existe en la naturaleza, debido a cortes y excavaciones para la construcción de caminos, conformación de terrazas para viviendas, vertido de rellenos de material suelto en los taludes y escarpe de las laderas".

El hombre induce cambios en el medio ambiente de un talud, pues las actividades humanas tienen una gran influencia sobre su comportamiento y especialmente, sobre la activación de los deslizamientos. Las actividades antrópicas como el uso de la tierra, las prácticas de agricultura, la construcción de carretas y la irrigación, entre otras, son factores determinantes en la ocurrencia de deslizamientos.

g) ESTADO DE METEORIZACIÓN

(Castañon Garay, 2011) El agua y el viento continuamente afectan a los taludes erosionándolos. La erosión modifica la geometría del talud y por tanto los esfuerzos a los que está sometido, resultando un talud diferente al inicialmente analizado o en una modificación de las condiciones que tenía, figura

h) CLIMA Y HIDROLOGIA

Durante el periodo de lluvias, los taludes se ven afectados al saturarse los suelos que los forman, provocando un aumento de peso de la masa, una disminución en la resistencia al esfuerzo cortante y la erosión de la superficie expuesta. Al introducirse agua en las grietas que presente el talud se origina un incremento en las fuerzas actuantes o aparición de fuerzas de filtración, pudiendo provocar la falla del mismo.

(Castañon Garay, 2011) Refiere que: "durante el periodo de lluvias, los taludes se ven afectados al saturarse los suelos que los forman, provocando un aumento de peso en la masa, una disminución en la resistencia al cortante y la erosión de la superficie expuesta. Al introducirse agua en las grietas que presenta el talud se origina un incremento en las fuerzas actuantes que presenta el talud o aparición de fuerzas de filtración, pudiendo provocar la falla del mismo".

i) SISMICIDAD

Los sismos suman fuerzas dinámicas a las fuerzas estáticas actuantes a las que esta sometido un talud, provocando esfuerzos cortantes dinámicos que reducen la resistencia al esfuerzo cortante, debilitando al suelo. Un aumento en la presión de poro en taludes formados por materiales granulares puede provocar el fenómeno conocido como licuación.

j) ASPECTOS GEOLÓGICOS

Algunas fallas de taludes son provocadas por aspectos geológicos no detectados durante el levantamiento y exploración de campo, los cuales, al no ser considerados durante la evaluación de la estabilidad del talud, aumentan la incertidumbre del factor de seguridad calculado.

k) CARGAS EXTERNAS

La aplicación de cargas sobre la corona del talud provoca un aumento en las fuerzas actuantes en la masa de suelo, lo cual puede llevar a la falla del talud si estas cargas no son controladas o tomadas en cuenta durante la evaluación de la estabilidad del talud.

I) EXCAVACIONES Y/O RELLENOS

Las actividades de construcción realizadas al pie de un talud o colocación de una sobrecarga en la corona, pueden causar la falla de éste al modificar la condición de esfuerzos a las que ésta sometido. Generalmente, estas actividades de construcción corresponden a trabajos donde se realizan excavaciones y/o rellenos. Cuando se realiza una excavación al pie del talud, el esfuerzo total se disminuye, generando en el suelo un incremento negativo en la presión de poro. Durante el tiempo en que este incremento de presión de poro se disipa, puede presentarse la falla del talud al disminuir la resistencia al esfuerzo cortante del suelo.

2.2.6. ESTRUCTURA DE LOS TALUDES

2.2.6.1. TALUD:

(Jiménez S. 1891) Define aun terreno como una superficie de terreno que posee un ángulo de referencia con la horizontal. Puede ser naturales o artificiales, los taludes naturales se los conoce en campo usualmente como laderas a diferencia de las artificiales, se les conoce como terraplén y desmonte. Los problemas mecánicos del suelo y rocas.

2.2.6.2. ETAPAS EN EL PROCESO DE FALLA

La clasificación de deslizamientos pretende describir e identificar los cuerpos que están en movimiento relativo. Las clasificaciones existentes son esencialmente geomorfológicas y solamente algunas de ellas se introducen consideraciones mecánicas o propiamente geológicas. Las características geotécnicas son necesarias y por esta razón, las clasificaciones eminentemente topográficas y morfológicas, como las propuestas por varnes y Hutchinson, etc. Deben adaptarse a las condiciones verdaderas de los movimientos. En este orden de ideas, se deben considerar cuatro etapas diferentes en la clasificación de movimiento:

- Etapa de deterioro o antes de la falla, donde el suelo es esencialmente intacto.

- Etapa de falla, caracterizado por la información de una superficie de falla o el movimiento de una masa importante de material.
- La etapa Post falla, incluye los movimientos de la masa involucrada en un deslizamiento desde el momento de la falla y hasta el preciso instante en el cual se detiene totalmente.
- La etapa de posible reactivación, en el cual pueden ocurrir movimientos que pueden considerarse como una nueva falla, e incluye las tres etapas anteriores.
- Etapa de deterioro o antes de la falla donde el suelo es esencialmente intacto.
- Etapa de falla caracterizada por la formación de una superficie de falla o el movimiento de una masa importante de material.
- La etapa post-falla que incluye los movimientos de la masa involucrada en un deslizamiento desde el momento de la falla y hasta el preciso instante en el cual se detiene totalmente.
- La etapa de posible reactivación en la cual pueden ocurrir movimientos que pueden considerarse como una nueva falla, e incluye las tres etapas anteriores.

2.2.7. MÉTODO HEURISTICO

Los métodos heurísticos, se basan en el conocimiento a priori de los factores que producen inestabilidad en el área de estudio. Los factores son ordenados y ponderados según su importancia asumida o esperada en la formación de deslizamientos (Almaguer, 2005), este análisis se determina por la evaluación de la susceptibilidad al deslizamiento. La evaluación de la susceptibilidad a deslizamientos se realizó mediante la aplicación del método Mora Vahrson (1992) y las modificaciones propuestas a este método, por Mora et al. (2002) (conocido como el método Mora - Vahrson – Mora), y por Camacho et al. (2004). La utilización de varias modificaciones al método, nos ayuda a comparar cuales parámetros tienen mayor peso y cuál metodología produce una

zonificación de susceptibilidad que se asemeja más a la realidad tangible, comparándola con el inventario de deslizamientos.

2.2.7.1. METODOLOGÍA MORA-VAHRSON

La metodología se aplica mediante la combinación de varios factores y parámetros, los cuales se obtienen de la observación y medición de indicadores morfo dinámicos y su distribución espaciotemporal. En este trabajo se utilizó una base topográfica 1:3500, con una resolución de 400 m², es decir un tamaño de pixel de 20x20 m.

La combinación de los factores y parámetros, se realiza considerando que los deslizamientos ocurren cuando, en una ladera compuesta por una litología determinada, con cierto grado de humedad y con cierta pendiente, se alcanza un grado de susceptibilidad (elementos pasivos) (Mora & Vahrson, 1992). Bajo estas condiciones, los factores externos y dinámicos, como son la sismicidad y las lluvias intensas (elementos activos) actúan como factores de disparo que perturban el equilibrio, la mayoría de las veces precario, que se mantiene en la ladera (Mora & Vahrson, 1992).

Es así, como se considera que el grado de susceptibilidad al deslizamiento, es el producto de los elementos pasivos y de la acción de los factores de disparo (Mora & Vahrson, 1992):

Donde:

$$H=EP \times D$$

H : Grado de susceptibilidad al deslizamiento.

EP : Valor del producto de la combinación de los elementos pasivos.

D : Valor del factor de disparo.

Por su parte el valor de los elementos pasivos, se compone de los siguientes parámetros (Mora & Vahrson, 1992):

$$EP=SI \times Sh \times Sp$$

Donde:

SI : Valor del parámetro de susceptibilidad litológica

Sh : Valor del parámetro de humedad del terreno

Sp : Valor del parámetro de la pendiente.

El factor de disparo, se compone de los siguientes parámetros (Mora & Vahrson, 1992):

$$D=Ds + DII$$

Ds : Valor del parámetro de disparo por sismicidad, y

DII : Valor del parámetro de disparo por lluvia.

Para los resultados de la combinación de todos los factores no se puede establecer una escala de valores única, pues los mismos dependen de las condiciones de cada área estudiada. Por este motivo, se sugiere dividir el rango de valores obtenidos para el área de estudio, en seis clases de susceptibilidad, y asignar los calificativos que se muestran en la presente tabla. El calificativo de susceptibilidad es una representación cuantitativa de los diferentes niveles de amenaza, que muestra solamente el rango de amenaza relativa en un sitio en particular y no la amenaza absoluta. Se sugiere que la asignación de rangos se efectúe con la utilización de un histograma de los resultados de la combinación de parámetros.

Se debe enfatizar en que esta clasificación relativa de la susceptibilidad, se basa en la influencia que tienen las diferentes condiciones examinadas en un área específica; es decir, las áreas de susceptibilidad determinadas para un sitio son válidas únicamente para este sitio. Condiciones similares encontradas fuera del sitio pueden producir un resultado diferente, por una pequeña diferencia en alguno de los factores.

2.2.7.2. DESCRIPCIÓN DE LOS PARÁMETROS DE LA METODOLOGÍA MVM

a. PARÁMETRO DE LA PENDIENTE (SP).

Este parámetro utiliza las clases de pendientes propuestas por (Van Zuidam, 1986), con las cuales se describen los procesos característicos y esperados, y las condiciones del terreno, así como una leyenda de colores sugerida por el mismo autor (Mora & Vahrson, 1992). El mapa de pendientes

Salazar (2007), propone una clasificación de la pendiente para adaptarla al método Mora-Vahrson, esta clasificación por su caracterización se consideró en sus rasgos generales, para luego asignar los valores de peso a cada rango de variable producto de un análisis de pendiente.

Se generó con base al modelo de elevación digital creado a partir de las curvas de nivel a escala 1: 25000

Tabla 1: Clases de pendiente, condiciones de terreno

Clase de pendiente		Condiciones del terreno	Valor del parámetro S_p
Grados	%		
0-2	0-2	Planicie, sin denudación apreciable	0
2-4	2-7	Pendiente muy baja, peligro de erosión	1
4-8	7-15	Pendiente baja, peligro severo de erosión.	2
8-16	15-30	Pendiente moderada, deslizamientos ocasionales, peligro severo de erosión.	3
16-35	30-70	Pendiente fuerte, procesos denudacionales intensos (deslizamientos), peligro extremo de erosión de suelos.	4

b. FACTOR DE HUMEDAD DEL SUELO (Sh).

En éste caso, se recurre a los promedios mensuales de precipitación, efectuando con ellos un balance hídrico simplificado, en donde se asume una evapotranspiración potencial de 125 mm/mes; por lo tanto, precipitaciones mensuales inferiores a 125 mm no conducen a un aumento de la humedad del terreno, mientras que una precipitación entre 125 y 250 mm si la incrementa, y precipitaciones mensuales superiores a 250 mm conducen a una humedad del suelo muy alta (Mora & Vahrson, 1992). Seguidamente, a los promedios mensuales se les asignan los valores del cuadro 1 y se efectúa la suma de estos valores para los doce meses del año, con lo que se obtiene un valor que puede oscilar entre 0 y 24 unidades. El resultado refleja los aspectos relacionados con la saturación y la distribución temporal de humedad en el

terreno (Mora & Vahrson, 1992). La valoración del parámetro se presenta en los siguientes cuadros:

Tabla 2: valores asignados a los promedios mensuales de lluvia (Mora R 1992)

Promedio de precipitación mensual [mm]	Valor asignado
< 125	0
125-250	1
>250	2

Tabla 3: Valoración del parámetro humedad del terreno (Mora R 1992)

Suma de valores asignados a cada mes	Descripción	Valoración del parámetro Sh
0-4	Muy bajo	1
5-9	Bajo	2
10-14	Medio	3
15-19	Alto	4
20-24	Muy alto	5

c. **PARÁMETRO LITOLÓGICO**

Los tipos de suelo y rocas juegan un papel preponderante en el comportamiento dinámico de las laderas. Su composición mineralógica, capacidad de retención de humedad, espesores y grado de meteorización, nivel de fracturación, buzamientos, posición y variabilidad de los niveles freáticos, etc., influyen en la estabilidad o inestabilidad de la ladera. Es claro que las propiedades geotécnicas deben ser lo mejor conocidas posibles, sin embargo, esto no siempre puede alcanzarse y la evaluación debe hacerse tan solo a base de descripciones geológicas generales. En la Tabla, se presentan las características más relevantes.

Tabla 4: Calificativo del factor Litológico (Mora y Varhrson)

Litologías	Calificativo	Valor del Parámetro
Aluvión grueso, permeable, compacto, nivel freático bajo. Calizas duras, permeables. Rocas intrusivas poco fisuradas, nivel freático bajo. Basaltos, andesitas ignimbritas y otras rocas efusivas, sanas, permeables y poco fisuradas. Rocas metamórficas, sanas poco fisuradas, nivel freático bajo. Materiales sanos con poca o ninguna meteorización, resistencia al corte elevada, fisuras sanas, sin relleno.	Baja	1
Rocas sedimentarias no o muy poco alteradas, estratificación maciza (decimétrica o métrica), poco fisuradas, nivel freático bajo. Rocas intrusivas, calizas duras, lavas, ignimbritas, rocas metamórficas poco o medianamente alteradas y fisuradas. Aluviones levemente compactos, con proporciones considerables de finos, drenaje moderado, nivel freático a profundidades intermedias. Resistencia al corte media a elevada, fracturas cizallables.	Moderada	2
Rocas sedimentarias, intrusivas, lavas, ignimbritas, tobas poco soldadas, rocas metamórficas, mediana a fuertemente alteradas, coluviales, lahares, arenas, suelos regolíticos levemente compactos, drenaje poco desarrollado, niveles freáticos relativamente altos. Resistencia al corte moderado a media, fracturación importante.	Media	3
Depósitos fluvio-lacustres, suelos piroclásticos poco compactos, sectores de alteración hidrotermal, rocas fuertemente alteradas y fracturadas con estratificaciones y foliación a favor de la pendiente y rellenos arcillosos, niveles freáticos someros. Resistencia al corte moderado a baja.	Alta	4
Materiales aluviales, coluviales y regolíticos de muy baja calidad mecánica, rocas con estado de alteración avanzado, drenaje pobre. Se incluyen los casos 3 y 4 con niveles freáticos muy someros, sometidos a gradientes hidrodinámicos elevados. Resistencia al corte baja a muy baja.	Muy Alta	5

d. PARÁMETRO LLUVIA

Para determinar las intensidades potenciales de las lluvias, los autores utilizaron los valores de lluvias máxima diaria para un período de retorno de 100 años, con tiempo de registro de más de 10 años. En la presente tabla, se observa la ponderación posterior de los valores para series mayores y menores a 10 años

Tabla 5: Calificativo del factor Lluvia (Mora y Varhrson)

Precipitación máx. en 24 horas (mm) n>10 años, Tr = 100 años (GUMBEL)	Precipitación máx. en 24 horas (mm) N<10 años, Promedio	Calificativo	Valor del Parámetro Tp
<100	<50	Muy Bajo	1
100-200	51-90	Bajo	2
200-300	91-130	Mediano	3

Calificación de los valores de las lluvias de una duración del día con un periodo de retorno de 100 años

e. PARÁMETRO DE SISMO (Ss)

(Mora & Vahrson, 1992) Analizaron varios eventos sísmicos, a partir de 1888, que generaron FRM importantes en el Valle Central. Considerando las condiciones litológicas, de relieve y de lluvias, observaron que el potencial de generación de deslizamientos a partir de sismos, puede correlacionarse con la Escala de Intensidades de Mercalli Modificada. La Tabla 5, indica la capacidad generadora de deslizamientos de los sismos según su intensidad MM y el valor del factor respectivo.

Tabla 6: Calificativo del factor Sismicidad (Mora y Varhrson)

Intensidad de Mercalli Modificada	Calificativo	Valor del Parámetro Ta
III	Leve	1
IV	Muy Bajo	2
V	Bajo	3
VI	Moderado	4
VII	Medio	5
VIII	Elevado	6

IX	Fuerte	7
X	Bastante Fuerte	8
XI	Muy Fuerte	9
XII	Extremadamente Fuerte	10

2.2.8. MÉTODO DETERMINÍSTICO

Los métodos determinísticos, se utilizan para el estudio de la estabilidad de una ladera o talud concreto, los cuales se fundamentan en métodos basados en modelos numéricos. Estos métodos muestran un grado de fiabilidad alto, si los datos son correctos. Su principal inconveniente es su baja idoneidad para zonificaciones rápidas y de extensas áreas (Van Westen, 1993).

(Toro, 2012) Manifiesta, "Es común definir la estabilidad de un talud en términos de un Factor de Seguridad (F.S.), obtenido de un análisis matemático determinístico; cuyos modelos, deben tener en cuenta la mayoría de los factores que afectan la estabilidad, como son la geometría del talud, parámetros de cargas estáticas, flujos de agua, propiedades de los suelo, etc."

a. ANGULO DE FRICCIÓN

(Badillo, 2005) Define el ángulo de fricción, como representación matemática del coeficiente de rozamiento, el cual depende de varios factores, los más importantes son: tamaño de granos, forma de granos, distribución de tamaño de granos y densidad.

b. COHESIÓN

(Badillo, 2005) Define la cohesión, como una medida de la cementación o adherencia entre las partículas de suelo; además representa la resistencia al cortante producida por la cementación. En suelos granulares, no existe ningún tipo de material que pueda producir adherencia, la cohesión se supone igual a "0" y a estos suelos se los denomina como suelos no cohesivos.

c. FACTOR DE SEGURIDAD

La identificación y determinación del factor de seguridad obedecen a la aplicación de los diversos métodos de cálculo matemático; sirven para la evaluación del fenómeno de estabilidad de taludes, sumando fuerzas y momentos en relación a una superficie de falla asumida que desliza con respecto al resto de la masa de suelo. En consideración a lo descrito.

(Beneyto A., 2011), considera que "La determinación del factor de seguridad puede ser abordada mediante el empleo de teorías simplificadas de resistencia de materiales, como los métodos de equilibrio límite, o bien, mediante técnicas más precisas como el Método de los Elementos Finitos, conduciendo, en ambos casos, a soluciones determinística (...), en estos casos pueden emplearse técnicas iterativas de búsqueda donde la solución no es única, sino que está acotada en un intervalo."

En efecto, el factor de seguridad es empleado para conocer cuál es el factor de amenaza para que el talud falle en las peores condiciones de comportamiento para el cual se diseña. Fellenius (1922) presentó el factor de seguridad como la relación entre la resistencia al corte real, calculada del material en el talud y los esfuerzos de corte críticos que tratan de producir la falla, a lo largo de una superficie supuesta de posible falla:

$$F.S. = \text{RESISTENCIA AL CORTANTE DISPONIBLE} / \text{ESFUERZO AL CORTANTE}$$

El factor de seguridad, calculado para el Análisis Estático (Equilibrio Límite y Elementos Finitos) nos indica que:

- Si el factor de seguridad es menor a la unidad ($FS < 1$), el talud es inestable o ya colapsado.
- Si el factor de seguridad es mayor a la unidad ($FS > 1$), el talud es estable.
- Si el factor de seguridad es menor a la unidad ($FS = 1$), el talud presenta el riesgo de una falla inminente.

El factor de seguridad, calculado para el Análisis Dinámico (Elementos Finitos), tiene la siguiente premisa:

- El Reglamento Nacional de Estructuras en la Norma E.050 recomienda que el Factor de Seguridad mínimo para taludes en condiciones sísmicas es de 1.25.

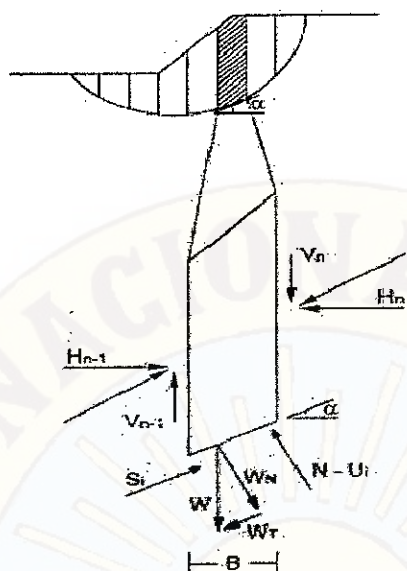


Imagen 6: Formulación del Método De Fellenius

Una vez hecho esto, se calcula el equilibrio de cada una de las dovelas, para finalmente analizar el equilibrio global, obteniéndose así un Factor de Seguridad (FS), al que se le puede definir como la relación entre fuerzas o momentos resistentes y fuerzas o momentos actuantes según sea el método, sobre la masa a deslizarse.

Observándose la Figura 02.01, se puede apreciar que el peso de la rebanada (W) se descompone en una componente tangencial (W_t) y otra componente normal (W_n), paralela y perpendicularmente a la base de la rebanada, respectivamente.

La componente tangencial W_t origina una fuerza cortante, inducida a lo largo de la base de la rebanada, a la que se le opone la propia resistencia al corte (S_i) del terreno. Mientras que la componente normal W_n , actúa perpendicularmente al plano de la base de la rebanada, a la cual disminuida en la fuerza producida por la presión de poros (U_i), se opone a la reacción normal del suelo que se encuentra en la base de la rebanada (N).

Las fuerzas V y H, con sus respectivos subíndices, definen la interacción entre las rebanadas, y es la evaluación de estas reacciones internas lo que establece la diferencia fundamental entre los métodos; en el caso de Fellenius no se considera estas fuerzas en el cálculo del Factor de Seguridad. Por lo tanto:

$$f_s = \frac{\sum (C \cdot B + (W \cos \alpha - U \cdot B) \tan \phi)}{\sum W \cdot \sin \alpha}$$

Donde:

$$W_N = W \cdot \cos \alpha$$

$$W_T = W \cdot \sin \alpha$$

$$U_T = u \cdot B$$

W : Peso de la dovela.

WN : Componente normal del peso de la dovela.

WT : Componente tangencial del peso de la dovela.

N : Reacción normal del suelo sobre la dovela.

U : Presión de poros.

Ui : Fuerza producida por la presión de poros.

B : Base de la dovela.

C : Cohesión del suelo.

ϕ : Ángulo de fricción del suelo.

A : Ángulo de la superficie de falla en la dovela.

Si : Resistencia al corte del terreno = $c \cdot B + (W \cdot \cos \alpha - u \cdot B) \cdot \tan \phi$

H_{n,n-1} : Fuerzas horizontales de interacción entre dovelas.

V_{n,n-1} : Fuerzas verticales de interacción entre dovelas.

FS : Factor de seguridad.

Si las circunstancias así lo requieren puede ser necesario considerar la incidencia de sobrecargas, fijas o temporales, las fuerzas de filtración a través de la masa de suelo, así como las acciones sísmicas.

Una vez que se calcula el FS para una determinada potencial superficie de falla, se repite el mismo proceso para otra supuesta superficie de falla, y así sucesivamente hasta llegar a un mínimo FS, asumiéndose así que dicha superficie es la más crítica y a través de la cual se producirá la falla.

Como se puede observar, el cálculo manual de este proceso es lento y tedioso, prestándose a errores durante la utilización de un gran número de parámetros, y quedando siempre la duda, si el valor del FS que hallamos finalmente es realmente el mínimo, o todavía podemos encontrar otra curva que lo minimice más, y aunque hay procedimientos para ir acotando progresivamente los FS, se necesitaría un número significativamente elevado de horas de trabajo manual para llegar a un valor fiable.

Con el cálculo electrónico el procesamiento es prácticamente instantáneo, y permite analizar un gran número de alternativas, por lo que el valor mínimo de FS puede acotarse dentro de un intervalo razonablemente aceptable en un tiempo muy corto.

2.2.9.2. MÉTODO DE BISHOP SIMPLIFICADO

Debido a que el método de las rebanadas o dovelas no es muy preciso para suelos friccionantes, Bishop (1955) propuso otro método originalmente desarrollado para superficies de fallas circulares, el cual considera la condición de equilibrio entre las fuerzas de interacción verticales actuantes entre las rebanadas.

Ya que en los suelos friccionantes ($\phi > 0$), la resistencia cortante depende de los esfuerzos confinantes, al considerar la condición de equilibrio de fuerzas verticales (solamente se considera empuje horizontal), la determinación de las fuerzas normales se hace más precisa. La Figura 02.02 ilustra la formulación de éste método.

B : Base de la dovela.

c : Cohesión del suelo.

ϕ : Ángulo de fricción del suelo.

α : Ángulo de la superficie de falla en la dovela.

FS : Factor de seguridad.

2.2.9.3. MÉTODO DE JANBU.

Diseñado para superficies no necesariamente circulares, también supone que la interacción entre rebanadas es nula, pero a diferencia de Bishop, este método busca el equilibrio de fuerzas y no de momentos. Experiencias posteriores hicieron ver que la interacción nula en el caso de equilibrio de fuerzas era demasiado restrictiva, lo que obligó a introducir un factor de corrección o empírico aplicable al FS.

En la versión posterior modificada, se define una línea de empuje entre las rebanadas, y se buscan los equilibrios en fuerzas y momentos respecto al centro de la base de cada una, como se muestra en la Figura 02.03.

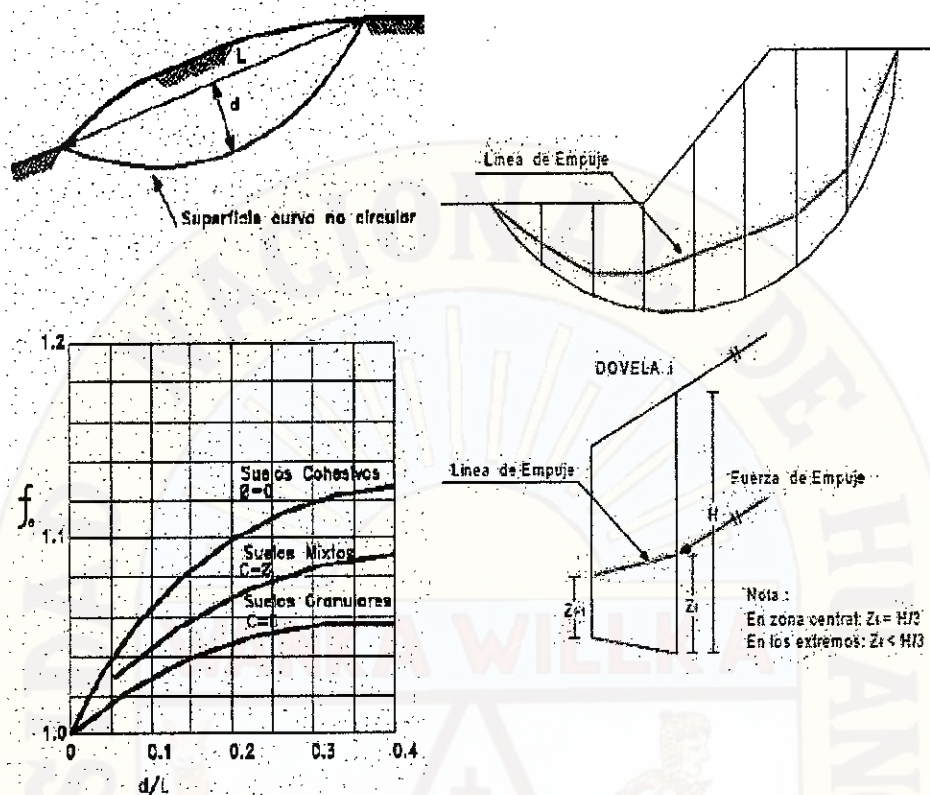


Imagen 8: Formulación del Método de Janbu

$$f_s = \frac{f_0 \cdot \sum (C + B + (W - u \cdot B) \cdot \tan \phi) / \cos \alpha \cdot m_a}{\sum W \cdot \tan \alpha}$$

Donde:

$$m_a = \cos \alpha \cdot \left(1 + \frac{\tan \alpha \cdot \tan \phi}{f_s} \right)$$

W : Peso de la dovela.

u : Presión de poros.

B : Base de la dovela.

C : Cohesión del suelo.

ϕ : Ángulo de fricción del suelo.

A : Ángulo de la superficie de falla en la dovela.

f_0 : Factor de corrección.

FS : Factor de seguridad.

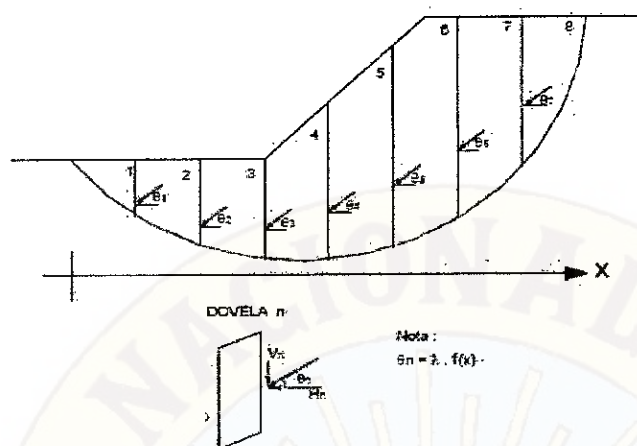


Imagen 10: Formulación del Método de Spencer

2.2.9.6. MÉTODO DE SARMA

Este método se basa en la búsqueda de la aceleración horizontal necesaria, para que la masa de suelo alcance el equilibrio límite. El Factor de Seguridad es calculado reduciendo progresivamente la resistencia al cortante del suelo hasta que la aceleración se anula. Por sus características es aplicable a rebanadas no verticales, y suele ser muy utilizado en el cálculo por Elementos Finitos.

Cabe recalcar que el método de Sarma es uno de los métodos rigurosos, que no presenta problemas de convergencia, en la determinación del FS. La Figura 02.06 ilustra la formulación de este método.

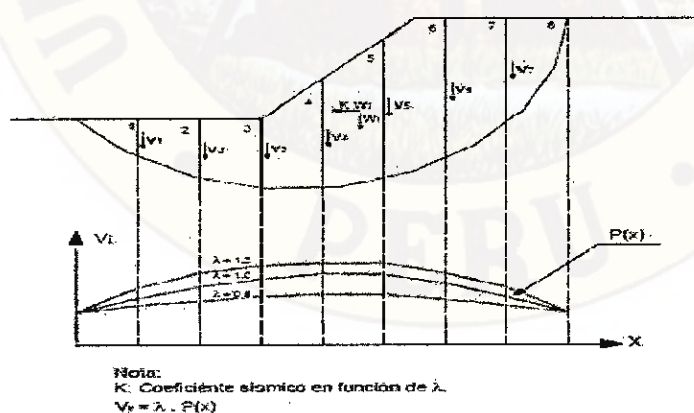


Imagen 11: Formulación del Método de Sarma

De los métodos presentados, la decisión de qué método utilizar depende de muchas variables, pero especialmente de la geometría de la superficie de falla estimada y de los parámetros del suelo.

Los métodos que calculan el FS por equilibrio de momentos están muy poco influenciados por las hipótesis referidas a la interacción que existe entre las rebanadas; es por eso que, en el caso de superficies de fallas circulares en suelos relativamente homogéneos e isotrópicos, el método de Bishop proporciona resultados bastante confiables.

Los métodos que calculan el FS por equilibrio de momentos están muy poco influenciados por las hipótesis referidas a la interacción que existe entre las rebanadas; es por eso que, en el caso de superficies de fallas circulares en suelos relativamente homogéneos e isotrópicos, el método de Bishop proporciona resultados bastante confiables.

En el caso de masas de suelo en que hay alternancia de estratos con características geotécnicas diferentes, será necesario el modelamiento de superficies de rotura no circulares. Inicialmente se puede empezar el análisis usando los métodos de Bishop y Janbu para que después, definidas las condiciones críticas, analizar con algunos de los métodos rigurosos.

En la Figura 02.07 se expone un caso real de trazado de una carretera a media ladera en un macizo de suelo homogéneo con rotura circular, donde se aprecia la excelente aproximación que se obtiene utilizando Bishop, Janbu y Spencer.

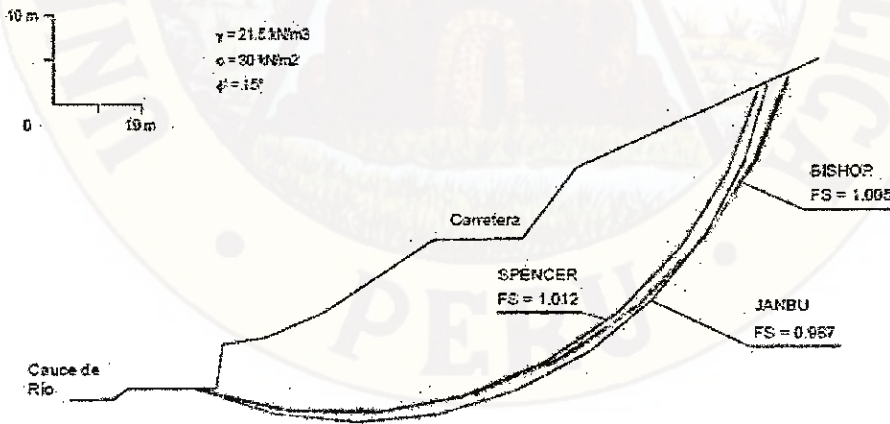
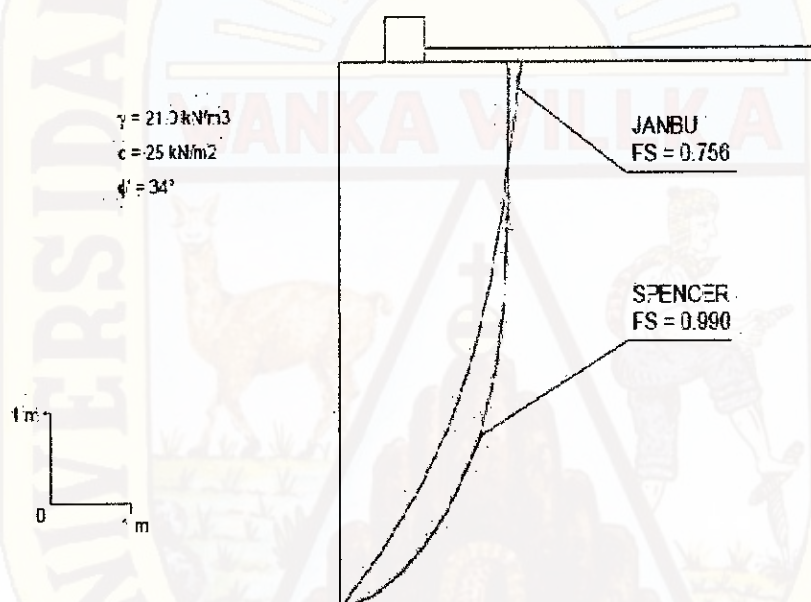


Imagen 12: Comparación de los Factores de Seguridad de un Talud Analizado por Varios Métodos

Por el contrario, en la Figura, que refleja una excavación junto a una calzada, se obtienen FS pésimos con curvas no circulares, apareciendo una notable diferencia entre el FS calculado por Janbu respecto al de Spencer, aunque ambos métodos coinciden en confirmar la inestabilidad. En este caso, la sospecha de error se orienta hacia el primero, ya que la verticalidad de la línea de rotura haría necesaria una división en rebanadas casi infinitesimales para que las fuerzas en la base de las mismas puedan considerarse uniformes, con lo que se llega a una evaluación imprecisa del FS. Como confirmación, la rotura se produjo siguiendo la curva de Spencer.



Imagen⁸ 13: Comparación de Factores de Seguridad en una Excavación Vertical Aplicando Varios Métodos

2.2.10. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES ELEMENTOS FINITOS.

La principal delimitación de los métodos de límite de equilibrio, está en su inhabilidad para tener en cuenta las deformaciones, las cuales pueden determinar el proceso de falla, particularmente en los procesos de falla progresiva y los que dependen

⁸ Artemio Cuenca Payá; "Comentarios sobre el cálculo de taludes"; Laboratorio de Carreteras de Alicante; 2001

del factor tiempo. Para resolver estas limitaciones, se utilizan técnicas de modelación numérica, que permiten soluciones aproximadas a problemas que no son posibles resolver utilizando procedimientos de límite de equilibrio. En este aspecto, los modelos numéricos son más precisos. Los modelos numéricos son muy útiles para analizar las fallas en las cuales no existe una superficie continua de cortante como es el caso de las fallas por "volteo". La incorporación de los defectos o discontinuidades dentro del modelo, permiten estudiar el comportamiento del talud.

El método de elementos finitos, fue introducido por Clough y Woodward (1967). El método, esencialmente, divide la masa de suelo en unidades discretas que se llaman elementos finitos. En el método UDEC, el talud se divide en bloques de acuerdo al sistema de juntas o grietas, los cuales pueden ser rígidos o deformables. Estos elementos se interconectan en sus nodos y en los bordes predefinidos. El método típicamente utilizado, es la formulación de desplazamientos que presenta los resultados en forma de esfuerzos y desplazamientos a los puntos nodales. La condición de falla obtenida es la de un fenómeno progresivo en donde no todos los elementos fallan simultáneamente.

La herramienta es muy poderosa, su utilización es relativamente compleja y su uso se ha venido popularizando para la solución de problemas prácticos. Wong (1984), menciona la dificultad de obtener factores de seguridad de la falla, pero esta limitación ha sido resuelta por métodos más recientes (Ugai, 1989). El análisis por elementos finitos debe satisfacer las siguientes características:

- Debe mantenerse el equilibrio de esfuerzos en cada punto, el cual es realizado empleando la teoría elástica para describir los esfuerzos y deformaciones. Para predecir el nivel de esfuerzos, se requiere conocer la relación esfuerzo - deformación.
- Las condiciones de esfuerzos de frontera se deben satisfacer.

Existe dificultad en la mayoría de los casos prácticos, reales, para definir la relación esfuerzo – deformación; por lo difícil que es describir los depósitos de suelos naturales en términos de esfuerzo - deformación. Otra limitante es el poco conocimiento de los esfuerzos reales "in situ" que se requieren para ser incorporados en el modelo.

2.2.11. METODOS PARA ESTABILIZAR TALUDES

Existen varias formas de enfocar y resolver cada problema específico y la metodología que se requiere emplear depende de una serie de factores técnicos, sociales, económicos, políticos; con una gran cantidad de variables en el espacio y en el tiempo. A continuación, se presentan algunas de las metodologías que se han utilizado para disminuir o eliminar a los deslizamientos de tierra.

2.2.11.1. METODOLOGÍAS DE REMEDIACIÓN

Una vez analizado el talud, definidos los niveles de amenaza y riesgo, el mecanismo de falla y analizados los factores de equilibrio, se puede pasar al objetivo final, que es el diseño del sistema de prevención, control o estabilización.

Las técnicas de remediación comprenden las siguientes alternativas generales:

- Prevención para evitar que ocurra la amenaza o el riesgo.
- Elusión de la amenaza para evitar que esta genere riesgos.
- Control de los movimientos para disminuir la vulnerabilidad.
- Estabilización para disminuir la probabilidad de ocurrencia de la amenaza aumentando el factor de seguridad.

En la presente tabla, se muestra un listado general de metodologías, que se utilizan para la mitigación de la amenaza y el riesgo a los deslizamientos.

Tabla 7: Algunos Métodos de remediación de las amenazas

SISTEMA DE REMEDIACIÓN	OPCIONES DE ALGUNOS MÉTODOS ESPECÍFICOS
Prevención de la Amenaza o el Riesgo	- Concientización de la comunidad. - Aviso o alarma. - Normas y códigos técnicos.

Elusión del problema	-Relocalización de la obra. - Remoción de los materiales inestables. - Instalación de un puente o un túnel. - Construir variantes.
Reducción de las fuerzas actuantes	- Cambio del alineamiento para disminuir alturas. - Conformación de la superficie del terreno. - Drenaje de la superficie. - Drenaje internamente. - Reducción del peso del material.
Incremento de las fuerzas resistentes	- Colocación de un contrapeso. - Construcción de estructuras de contención. - Colocación de llaves de cortante en la superficie de falla.
Aumento de la resistencia del suelo	- Subdrenaje. - Refuerzo. - Biotecnología. - Tratamiento químico (inyecciones). - Tratamiento térmico. - Compactación profunda. - Columnas de piedra.

a. PREVENCIÓN

La prevención incluye el manejo de la vulnerabilidad, evitando la posibilidad de que se presenten riesgos o amenazas. La prevención debe ser un programa del estado, en todos sus niveles mediante una legislación un sistema de manejo de amenazas que permita disminuir los riesgos a deslizamiento en un área determinada.

Estrategias para la prevención: El riesgo a deslizamientos en zonas urbanas, puede reducirse utilizando cuatro formas de regulación como:

- Restricción de la expansión de las áreas urbanas con susceptibilidad a deslizamientos, utilizando un mapa de susceptibilidad.
- Códigos urbanos que regulen las excavaciones, cortes y demás actividades de construcción.
- Protección del desarrollo urbano construyendo medidas de mitigación.

- Desarrollo e instalación de sistemas de monitoreo y alarma.

b. ELUSIÓN DE LA AMENAZA

Eludir la amenaza, consiste en evitar que los elementos en riesgo sean expuestos a la amenaza por deslizamiento. Esto equivale a una disminución de la vulnerabilidad. La amenaza como tal continúa, pero la elusión impide que estas amenazas generen riesgos específicos. La presencia de deslizamientos de gran magnitud, difíciles de estabilizar, es un argumento de gran peso para sustentar un proceso de elusión. Debe tenerse en cuenta que en ocasiones estos deslizamientos son movimientos antiguos, los cuales han estado disfrazados por procesos nuevos de meteorización, erosión o por vegetación o actividades humanas. La no detección de grandes deslizamientos (en la fase de planeación) puede acarrear costos muy altos en el momento de la construcción.

Tabla 8: Métodos de elusión de deslizamiento

METODO	VENTAJAS	LIMITACIONES
Variantes o relocalización del proyecto	Se recomienda, cuando existe el riesgo de activar grandes deslizamientos difíciles de estabilizar o cuando hay deslizamientos antiguos de gran magnitud. Puede ser el mejor de los métodos si es económico hacerlo.	Puede resultar costoso y el nuevo sitio o alineamiento puede estar amenazado por deslizamientos.
Remoción total de los deslizamientos	Es atractivo, cuando se trata de volúmenes pequeños de excavación.	La remoción de los deslizamientos puede producir nuevos movimientos.
Remoción parcial de materiales inestables	Se acostumbra remover los suelos subsuperficiales inestables cuando sus espesores no son muy grandes.	Cuando el nivel freático se encuentra subsuperficial, se dificulta el proceso de excavación.
Modificación del nivel del proyecto o subrasante de una vía	La disminución de la altura de los cortes en un lineamiento de gran longitud, puede resolver la viabilidad técnica de un proyecto.	Generalmente, al disminuir la altura de los cortes, se desmejoran las características del proyecto.

Puentes o viaductos sobre los movimientos	Muy útil en terrenos de pendientes muy altas.	Se requiere cimentar los puentes sobre suelo estable y las pilas deben ser capaces de resistir las fuerzas laterales.
---	---	---

En el caso de taludes o coluviones producto de antiguos movimientos, cualquier corte o cambio de las condiciones de precaria estabilidad, puede generar nuevos movimientos; y en este caso, la elusión puede eliminar el riesgo en forma definitiva. En algunos casos no sería buena práctica de ingeniería el tratar de eludir los problemas antes de intentar resolverlos. Previamente a la aplicación de un método de elusión, debe estudiarse la posibilidad de aplicación de sistemas de estabilización en los aspectos técnicos y económicos y la viabilidad de eludirlos.

c. CONTROL

Métodos tendientes a controlar la amenaza activa, antes de que se produzca el riesgo a personas o propiedades. Generalmente, consisten en estructuras que retienen la masa en movimiento. Este tipo de obras se construyen abajo del deslizamiento para detenerlo después de que se ha iniciado.

Tabla 9: Estructura de control de masa en movimiento

METODO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Estructuras de retención	Retienen las masas en movimiento	Se pueden requerir estructuras algo costosas.
Cubiertas de protección	Son uno de los métodos más efectivos para disminuir el riesgo.	Son muy costosas.

d. ESTABILIZACIÓN

La estabilización de un talud, comprende los siguientes factores:

- Determinar el sistema o combinación de sistemas de estabilización más apropiados, teniendo en cuenta todas las circunstancias del talud estudiado.
- Diseñar en detalle el sistema a emplear, incluyendo planos y especificaciones de diseño.
- Instrumentación y control durante y después de la estabilización.

Debe tenerse en cuenta que, en taludes, nunca existen diseños detallados inmodificables y que las observaciones que se hacen durante el proceso de construcción tienden generalmente, a introducir modificaciones al diseño inicial y esto debe preverse en las cláusulas contractuales de construcción.

2.2.12. SELECCIÓN DEL METODO DE ESTABILIZACION

Tan pronto se comprueba que hay un riesgo de inestabilidad en un determinado talud, se debe buscar la mejor solución y considerar aspectos de costo, naturaleza de las obras afectadas (tanto en la cresta como al pie del talud), tiempo estimado en el que se puede presentar el problema, disponibilidad de los materiales de construcción.

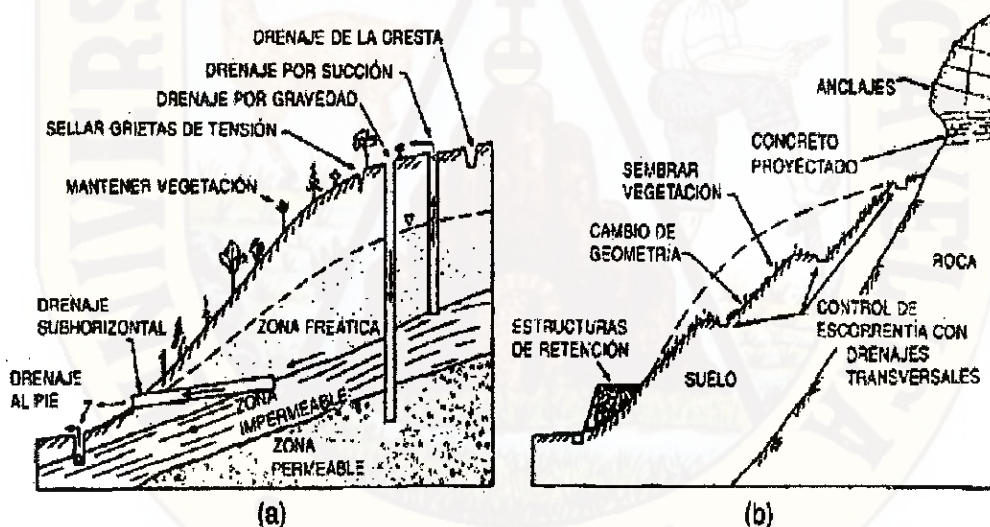
Existen tres grandes grupos de soluciones para lograr la estabilidad de un talud:

- **Aumentar la resistencia del suelo:** son las soluciones que aplican drenaje en el suelo para bajar el nivel freático o la inyección de sustancias que aumenten la resistencia del suelo, tales como el cemento u otro conglomerante
- **Disminuir los esfuerzos actuantes en el talud:** soluciones tales como el cambio de la geometría del talud mediante el corte parcial o total de éste a un ángulo menor o la remoción de la cresta para reducir su altura.
- **Aumentar los esfuerzos de confinamiento (σ_3) del talud:** se puede lograr la estabilización de un talud mediante obras, como los muros de gravedad, las pantallas atirantadas o las bermas hechas del mismo suelo.

2.2.12.1. CAMBIO DE LA GEOMETRIA

El cambio de la geometría de un determinado talud puede realizarse mediante soluciones tales como la disminución de la pendiente a un ángulo menor, la reducción de la altura (especialmente en suelos con comportamiento cohesivo) y la colocación de material en la base o pie del talud (construcción de una berma); en esta última solución es común usar material de las partes superiores del talud

La consecuencia directa de realizar un cambio favorable en la geometría de un talud es disminuir los esfuerzos que causan la inestabilidad y, en el caso de la implantación de una berma, el aumento de la fuerza resistente. Es importante destacar que la construcción de una berma al pie de un talud debe tomar en cuenta la posibilidad de causar inestabilidad en los taludes que se encuentren debajo, además, se deben tomar las previsiones para drenar el agua que pueda almacenarse dentro de la berma, ya que es probable que pueda haber un aumento de la presión de los poros en los sectores inferiores de la superficie de falla, lo que acrecienta la inestabilidad.



2.2.12.2. DRENAJE

La presencia de agua es el principal factor de inestabilidad en la gran mayoría de las pendientes de suelo o de roca con mediano a alto grado de meteorización. Por lo tanto, se han establecido diversos tipos de drenaje con

diferentes objetivos. A continuación, se exponen los tipos de drenaje más usados para estabilizar taludes.

- **Drenajes subhorizontales:** son métodos efectivos para mejorar la estabilidad de taludes inestables o fallados. Consiste en tubos de 5 cm o más de diámetro, perforados y cubiertos por un filtro que impide su taponamiento por arrastre de finos. Se instalan con una pequeña pendiente hacia el pie del talud, penetran la zona freática y permiten el flujo por gravedad del agua almacenada por encima de la superficie de falla. El espaciamiento de estos drenajes depende del material que se esté tratando de drenar y puede variar desde tres a ocho metros en el caso de arcillas y limos, hasta más de 15 metros en los casos de arenas más permeables
- **Drenajes verticales:** se utilizan cuando existe un estrato impermeable que contiene agua emperchada por encima de un material más permeable con drenaje libre y con una presión hidrostática menor. Los drenajes se instalan de manera que atraviesen completamente el estrato impermeable y conduzcan el agua mediante gravedad, por dentro de ellos, hasta el estrato más permeable, lo que aliviará el exceso de presión de los poros a través de su estructura
- **Drenajes transversales o interceptores:** se colocan en la superficie del talud para proporcionar una salida al agua que pueda infiltrarse en la estructura del talud o que pueda producir erosión en sus diferentes niveles. Las zonas en las que es común ubicar estos drenajes son la cresta del talud para evitar el paso hacia su estructura (grietas de tensión), el pie del talud para recolectar aguas provenientes de otros drenajes y a diferentes alturas del mismo.
- **Drenajes de contrafuerte:** consiste en la apertura de zanjas verticales de 30 a 60 cm de ancho en la dirección de la pendiente del talud para rellenarlas con material granular altamente permeable y con un alto ángulo de fricción ($> 35^\circ$). La profundidad alcanzada deberá ser mayor que la profundidad a la que se encuentra la superficie de falla para lograr el aumento de la resistencia del suelo no solo debido al aumento de los esfuerzos efectivos gracias al drenaje del agua que los reducía, sino también al aumento del material de alta resistencia incluido dentro de las zanjas.

2.2.12.3. SOLUCIONES ESTRUCTURALES

Este tipo de soluciones generalmente se usa cuando hay limitaciones de espacio o cuando resulta imposible contener un deslizamiento con los métodos discutidos anteriormente. El objetivo principal de las estructuras de retención es incrementar las fuerzas resistentes de forma activa (peso propio de la estructura, inclusión de tirantes, etc.) y de forma pasiva al oponer resistencia ante el movimiento de la masa de suelo.

- **Muros de gravedad y en cantiléver:** la estabilidad de un muro de gravedad se debe a su peso propio y a la resistencia pasiva que se genera en la parte frontal del mismo. Las soluciones de este tipo son antieconómicas porque el material de construcción se usa solamente por su peso muerto, en cambio los muros en cantiléver, hechos de concreto armado, son más económicos porque son del mismo material del relleno, el que aporta la mayor parte del peso muerto requerido.
- **Pantallas:** consisten de una malla metálica sobre la cual se proyecta concreto (shotcrete) recubriendo toda la cara del talud. Es común "atirantar" esta corteza de concreto armado mediante anclajes que atraviesan completamente la superficie de falla para posteriormente ser tensados y ejercer un empuje activo en dirección opuesta al movimiento de la masa de suelo. La figura 3.15 muestra el corte típico de una pantalla atirantada

2.2.13. LIMITACIONES EN LA APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN DE TALUDES

a. LIMITACIONES TECNICAS

Los sistemas de estabilización de taludes tienen relación con el tipo de suelo, la magnitud de las deformaciones, la corrosión, la durabilidad y la constructividad. De manera que una de las principales limitaciones es:

- La localización de los niveles freáticos. Cuando aflora el agua en la superficie, no es conveniente la construcción de obras que dificulten el drenaje del agua. Si se esperan movimientos durante o después de la construcción de las obras, se debe escoger un sistema que tolere estos movimientos.

- Debe tenerse en cuenta que algunos tipos de estructuras, no se acomodan de forma adecuada a los movimientos, así como las estructuras de gravedad (en términos generales) están menos influenciadas por las deformaciones internas que los sistemas que contienen refuerzos.
- La corrosividad puede afectar de forma negativa, en el comportamiento de las estructuras con refuerzos metálicos. En el diseño de este tipo de obras, se debe considerar el efecto de la corrosión y el uso del galvanizado u otras cubiertas resistentes.

b. LIMITACIONES AMBIENTALES

La selección del tipo de estabilización debe considerar los impactos potenciales ambientales, durante y después de la construcción.

Las obras de estabilización pueden generar contaminación en las corrientes de agua, lo cual pueden ser inaceptable igualmente. Las obras de drenaje modifican los patrones de agua, tanto superficiales como subterráneos. Por lo general, las obras de estabilización para que sean efectivas, se requiere que sean completas, esto equivale a que es común que las obras sean costosas. Por lo general, las obras de estabilización están sujetas a situaciones imposibles de prever, las cuales aumentan el costo del presupuesto por ello las obras presentan un costo superior al 50% del calculado previamente al inicio de las obras.

2.2.14. ANALISIS SISMICO POR ELEMENTOS FINITOS O DIFERENCIAS FINITAS

El más sofisticado método para los cálculos de estabilidad sísmica de taludes es conocido como análisis dinámico o análisis de esfuerzo-deformación y está típicamente incorporado a los modelos matemáticos de los elementos finitos o diferencias finitas.

En este tipo de análisis el movimiento del terreno es incluido en forma de una aceleración tiempo historia. Los esfuerzos permanentes inducidos sísmicamente en cada elemento de la malla de elementos finitos son integrados para obtener la

deformación permanente en el talud. Los resultados del análisis incluyen un tiempo historia de los esfuerzos de tensión y compresión, de las frecuencias naturales, de los efectos de la humedad, y los desplazamientos de los taludes.

2.2.15. FACTOR DE SEGURIDAD

Para el caso del análisis de equilibrio limite, una vez que se han realizado correctamente todos los pasos que nos llevan a realizar un correcto análisis de estabilidad de taludes, el FS que se considere aceptable depende, en primer lugar, del nivel de riesgo, y después de la magnitud de las soluciones implicadas, ya que en la propia esencia de la Ingeniería se encuentra el buscar un equilibrio entre inversión y resultados.

A veces, se puede encontrar soluciones faraónicas para salvar situaciones que se pueden obviar; además plantear soluciones con un FS alto, no siempre es adecuado, ya que elevan los costos innecesariamente. A continuación, la siguiente tabla trata de ilustrar los grados de estabilidad aceptables de los taludes según el tipo de análisis. Estos factores de seguridad pueden variar de acuerdo con la normatividad existente para distintos tipos de talud y para la importancia que su falla tenga sobre los bienes y las personas.

Tabla 10: Coeficientes Sísmicos en Análisis de Estabilidad de taludes⁹

Factor de Seguridad		Nivel o grado De Estabilidad
Estático	Seudoestático	
1.0 a 1.2	menor a 1.0	Inestable
1.2 a 2.0	1.0 a 1.2	Estable
mayor a 2.0	Mayor a 1.2	Muy estable

⁹ Alva, J.; "Análisis de Estabilidad de Taludes"; Curso de Actualización Profesional, UNI-FIC, pag. 175-196; Lima; 2000.

2.2.16. OBTENCIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD:

El estado tensional de la totalidad de la masa de suelo, a lo largo de la aplicación de la carga es obtenido mediante el análisis por elementos finitos donde las tensiones normales y de corte son computadas en relación a una superficie de falla seleccionada, utilizando un procedimiento para combinar un análisis de tensiones por elementos finitos en un talud con los conceptos del método de análisis por equilibrio límite, obteniendo un factor de seguridad general que expresa la estabilidad del talud basándose en las tensiones calculadas en la masa de suelo

Las tensiones calculadas por elementos finitos son usadas para calcular las tensiones normales y de corte en la superficie de falla. Las tensiones efectivas del paso de carga analizado son usadas para calcular los factores de seguridad locales en el centro de la base de cada faja, así como el factor de seguridad general de toda la superficie de deslizamiento. El factor de seguridad general se define en concordancia con el método de elementos finitos.

2.2.17. ANALISIS POR ELEMENTOS FINITOS:

En general un análisis por elementos finitos consiste en dividir un problema (un medio continuo) en un aserie de subdominios denominados elementos finitos, donde cada uno de estos elementos finitos ésta definido a su vez por una serie de puntos llamados nodos.

Un nodo puede pertenecer a uno o más elementos finitos y su función es describir la distribución de incógnitas dentro del elemento y conectar o unir todos los elementos dentro de un dominio, así como asegurar la compatibilidad de éstos.

Al conjunto de nodos y elementos se le conoce como mallas de elementos finitos.

Una vez dividido el problema se realizan ecuaciones de equilibrio, compatibilidad y relaciones constitutivas a cada elemento y se construye un sistema de ecuaciones. El sistema de ecuaciones puede ser el resuelto utilizando algebra lineal método no lineal.

DISCRETIZACIÓN DE ELEMENTOS:

La idea general del método de los elementos finitos es la división de un continuo en un conjunto de pequeños elementos interconectados por una serie de puntos llamados nodos. Las ecuaciones que rigen el comportamiento del continuo regirán también el del elemento. De esta forma se consigue pasar de un sistema continuo (infinitos grados de libertad), que es regido por una ecuación diferencial o un sistema de ecuaciones diferenciales, a un sistema con un número de grados de libertad finito cuyo comportamiento se modela por un sistema de ecuaciones, lineales o no. En cualquier sistema a analizar podemos distinguir entre:

- Dominio. Espacio geométrico donde se va a analizar el sistema.
- Condiciones de contorno. Variables conocidas y que condicionan el cambio del sistema: cargas, desplazamientos, temperaturas, voltaje, focos de calor
- Incógnitas. Variables del sistema que deseamos conocer después de que las condiciones de contorno han actuado sobre el sistema: desplazamientos, tensiones, temperaturas.

El método de los elementos finitos supone, para solucionar el problema, el dominio discretizado en subdominios denominados elementos. El dominio se divide mediante puntos (en el caso lineal), mediante líneas (en el caso bidimensional) o superficies (en el tridimensional) imaginarias, de forma que el dominio total en estudio se aproxime mediante el conjunto de porciones (elementos) en que se subdivide. Los elementos se definen por un número discreto de puntos, llamados nodos, que conectan entre sí los elementos. Sobre estos nodos se materializan las incógnitas fundamentales del problema. En el caso de elementos estructurales estas incógnitas son los desplazamientos nodales, ya que a partir de éstos podemos calcular el resto de incógnitas que nos interesen: tensiones, deformaciones,... A estas incógnitas se les denomina grados de libertad de cada nodo del modelo. Los grados de libertad de un nodo son las variables que nos determinan el estado y/o posición del nodo.

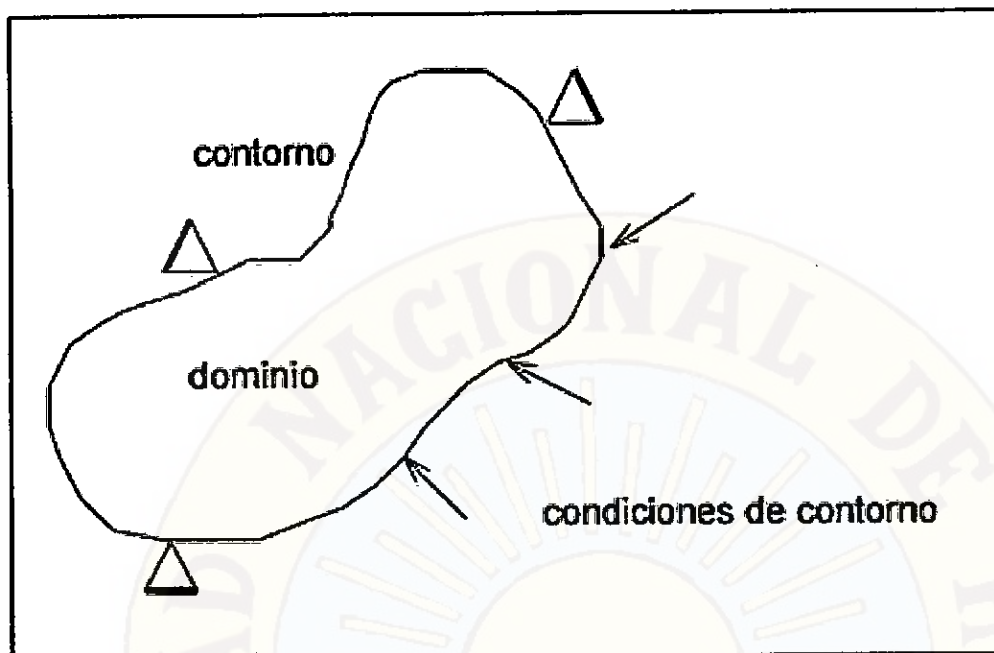


Imagen 19: Condiciones de contorno

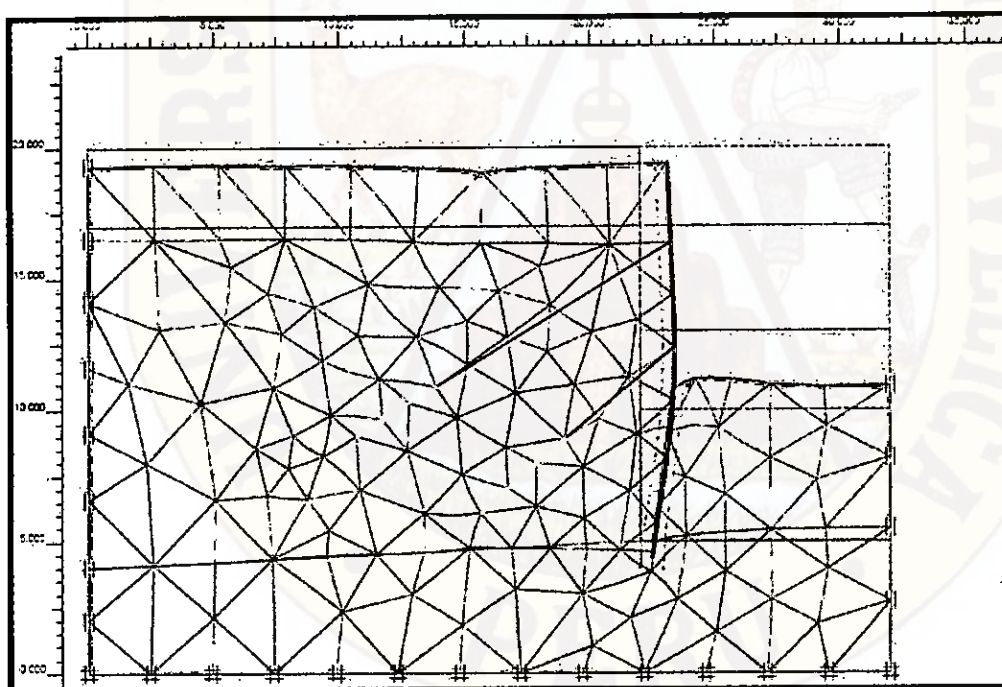


Imagen 20: Discretización de Elementos

ECUACIONES DE EQUILIBRIO:

$$0 = \sum_{1,i}^n F_{i,x} + \sum_{1,j}^m R_{i,x}$$

$$0 = \sum_{1,i}^n F_{i,y} + \sum_{1,j}^m R_{j,y}$$

$$0 = \sum_{1,i}^n M_{P/A} + \sum_{1,j}^m M_{P/R}$$

El número de ecuaciones del sistema será proporcional al número de nodos, ya que son éstos los que contienen las incógnitas.

Con el sistema de ecuaciones resuelto se tiene el comportamiento de cada elemento y se puede reconstruir el comportamiento del problema como un todo.

Las aplicaciones que utilizan el MEF, calculan las tensiones y deformaciones en el seno de una masa de terreno haciendo una discretización de la misma con elementos de formas variadas, siendo las más sencillas triangulares o rectangulares. Generalmente, las mallas analizadas contienen elementos de tamaño uniforme con anchos (w) y alturas (h) iguales (figura 20). Cada elemento se caracteriza a efectos de deformacionales por sus módulos de elasticidad y de Poisson en los casos más sencillos, pudiendo complicarse el estudio cuando se adoptan relaciones tenso-deformacionales de tipo no lineal.

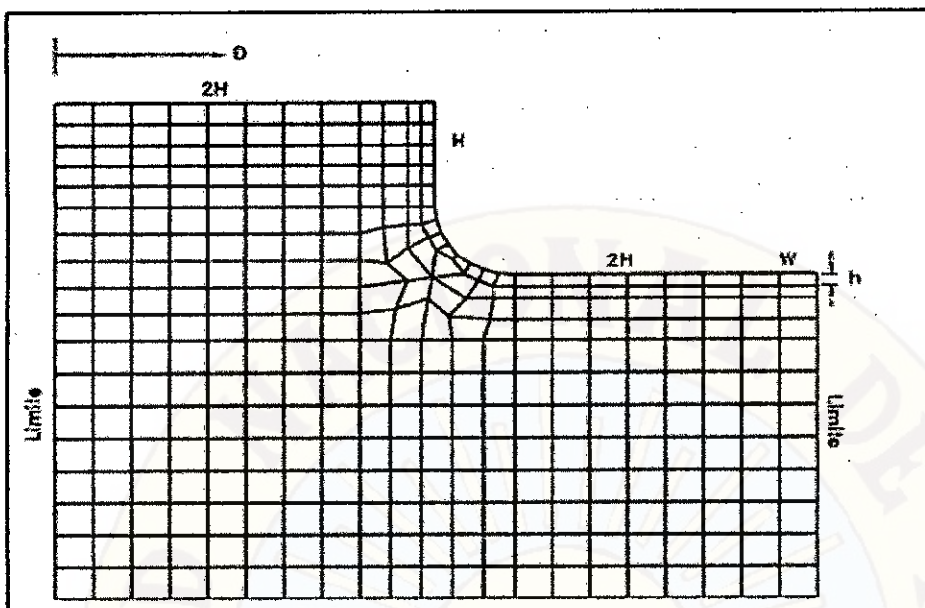


Imagen 21: Malla típica para el análisis de un talud vertical por el MEF (Ashford y Sitar, 1994)

La idea básica del método es dividir la geometría del problema en elementos pequeños, dentro de los cuales la solución puede considerarse conocida (Soriano, 1985). La hipótesis principal consiste en suponer que dentro de un determinado elemento, el desplazamiento viene dado por la ecuación:

$$\bar{U} = [N]\bar{U}_n$$

[N]: es una matriz de funciones que se fija a priori.

U_n : es el vector desplazamiento de una serie de puntos (nodos) del elemento.

Con esta hipótesis es posible buscar los valores de U_n que producen la mejor aproximación a la solución real del problema. De esta forma son conocidas las deformaciones unitarias de cada elemento tomando las correspondientes derivadas parciales de los movimientos:

$$\epsilon_{IJ} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial U_I}{\partial X_J} + \frac{\partial U_J}{\partial X_I} \right)$$

Y así obtener:

$$\bar{\epsilon} = [B]\bar{U}_n$$

Las tensiones en un elemento pueden obtenerse, a base de una relación constitutiva, que en el caso más simple puede escribirse:

$$\bar{\sigma} = [C]\bar{\varepsilon} = [C][B]\bar{U}_n$$

La expresión del equilibrio global (relación entre las fuerzas y tensiones), se establece en estos cálculos de movimientos y tensiones, mediante un procedimiento indirecto. Se expresa que la energía total del sistema es mínima y es la suma de la energía correspondiente a las fuerzas exteriores en todo el contorno y/o puntos cargados

$$\int_c^0 \bar{F}\bar{U} = \int F [N]\bar{U}_n$$

Y la energía elástica de deformación conjunta de todos los elementos,

$$\frac{1}{2} \int_c^0 \bar{\sigma}\bar{\varepsilon} = \frac{1}{2} \int \bar{U}^{-T} [B^{-T}][C][B]\bar{U}_n dv$$

La minimización respecto a los parámetros indeterminados, $\bar{U}_n$, conduce a una expresión del tipo:

$$[K]\bar{U}_n = \bar{Q}$$

Donde:

$[K]$: es la matriz rigidez del sistema.

$\bar{Q}$: es un vector de fuerzas nodales

Con las ecuaciones de contorno se puede resolver el problema y conocer unos ciertos desplazamientos, $\bar{U}_n$ que corresponden a unas ciertas sollicitaciones, F

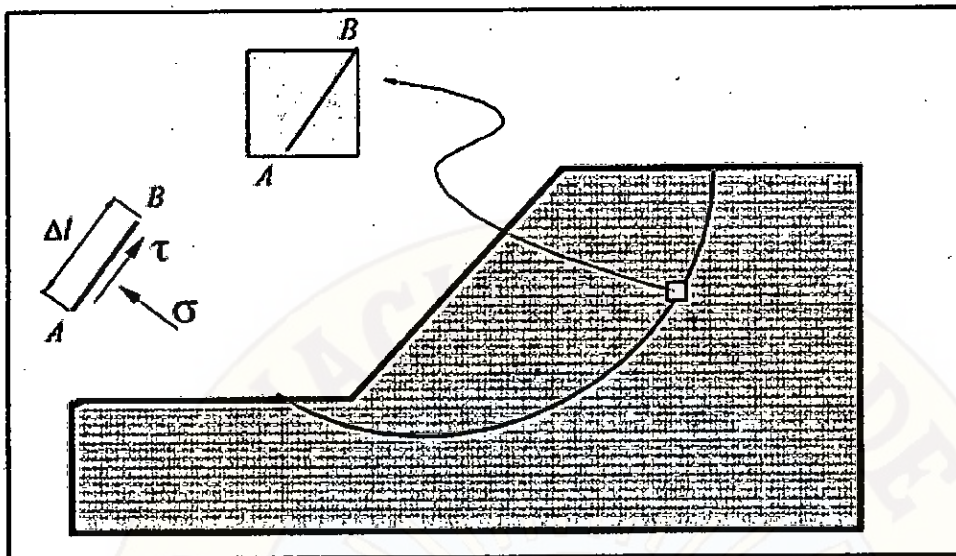


Figura 22: Modelo para el análisis factor de seguridad a partir de resultados del MEF.

El factor de seguridad en cada segmento Δl será:

$$F_{LOCAL} = \frac{(\sigma - U)Tg\phi + C}{\tau}$$

Y en toda la curva de rotura se puede calcular como:

$$F_{General} = \frac{1}{2} \sum F_{LOCAL} \Delta L$$

Donde c y ϕ son la cohesión y el ángulo de fricción del terreno respectivamente, y L es la longitud de la curva de rotura

La relación constitutiva de los materiales elásticos (sin criterio de rotura), no es muy acertada para estudiar problemas de rotura de taludes, por eso conviene introducir un criterio de plastificación del material (Cañizo, 1971).



Imagen 23: Análisis de Talud a Través de Elementos Finitos

2.2.18. ANÁLISIS DINÁMICO DE ESTABILIDAD DE TALUDES CON GEOSTUDIO:

Un análisis de elementos finitos se basa en tres aspectos fundamentales, la discretización de los elementos, la definición de las propiedades de los materiales y la asignación de condiciones de frontera. La discretización se encarga de definir la geometría, áreas y volúmenes, además de construir la malla de elementos finitos. Las propiedades de los materiales son las que describen los diferentes tipos de suelo o roca en el modelo, definiendo, en el caso de QUAKE/W, los parámetros de rigidez y presión de poros de cada uno; y en SLOPE/W, las utilizadas para simular la resistencia al corte del material de acuerdo al modelo de resistencia utilizado, como el de Mohr-Coulomb por ejemplo. Finalmente, las condiciones de frontera se encargan de dar al problema un marco de referencia, a partir del cual se resolverán los sistemas de ecuaciones creados en la malla de elementos finitos. En QUAKE/W, una vez construido el modelo numérico, se procede a aplicar un registro sísmico de aceleraciones al problema. La acción del sismo es analizada cada cierto intervalo de tiempo, llamado time step en la aplicación, obteniéndose así resultados parciales que afectan las propiedades de los materiales. Con estas nuevas propiedades de los materiales se analiza el modelo en el siguiente time step y así sucesivamente hasta que termina el registro sísmico. La malla de elementos finitos responderá al movimiento dependiendo del registro sísmico utilizado para el análisis, de la geometría del modelo, del marco de

referencia que se le haya dado al problema y de las propiedades de los materiales que componen el modelo, de tal manera que se calculen las distribuciones de esfuerzos y los excesos de presión de poros durante y después del movimiento. Esta información es luego utilizada para calcular el factor de seguridad de las diferentes superficies de falla definidas.⁷

El procedimiento, en resumen, que realiza GeoStudio para el análisis dinámico de la estabilidad de un talud por elementos finitos es el siguiente:

- En la aplicación QUAKE/W se calcula los esfuerzos actuantes en la estructura antes de la acción del sismo. Estos esfuerzos se originan a causa del peso de los materiales y el programa los obtiene a partir de un análisis estático inicial, el cual será usado como punto de partida para realizar el análisis dinámico.
- Aún en QUAKE/W, se aplica el movimiento sísmico a la estructura a través de un registro sísmico de aceleraciones ingresado previamente. El registro sísmico debe estar dividido en una serie de intervalos, llamados time steps. En cada uno de estos time steps es que QUAKE/W calcula las distribuciones de esfuerzos y los excesos de presión de poros, modificando, al final del time step, las propiedades de los materiales en respuesta a las deformaciones por esfuerzo de corte cíclico ocurridas. Estas propiedades modificadas son luego utilizadas como punto de partida para el siguiente intervalo.
- Una vez obtenidos los resultados de QUAKE/W (esfuerzos generados durante el sismo), se integran éstos con un análisis de estabilidad en SLOPE/W por el método de elementos finitos.
- Se definen las superficies de falla que se desean analizar (para lo cual SLOPE/W ofrece una variedad de formas) y se evalúa la estabilidad de este considerando los esfuerzos importados de QUAKE/W.

2.2.19. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES:

Las propiedades de los materiales utilizadas para los análisis de esta tesis se pueden dividir en dos: las utilizadas en QUAKE/W y las utilizadas en SLOPE/W. Las propiedades utilizadas en QUAKE/W son las relacionadas a la rigidez (módulo de corte, módulo de amortiguamiento y módulo de Poisson). El programa permite incluir además

propiedades relacionadas a la presión de poros, pero al no existir Napa freática en los modelos analizados en esta tesis, estas propiedades no fueron tomadas en cuenta.

Las propiedades utilizadas en SLOPE/W son las relacionadas al modelo de resistencia de Mohr-Coulomb (peso específico del material, ángulo de fricción interna y cohesión), utilizado para simular las características de resistencia al corte de los materiales. Estas propiedades son las mismas que las que se utilizarán en un análisis convencional por equilibrio límite.

A continuación, se profundizará en las propiedades utilizadas en QUAKE/W, ya que son éstas las que hacen la diferencia entre un análisis dinámico de estabilidad por elementos finitos y un análisis de estabilidad por equilibrio límite.

La resistencia al cortante de los suelos naturales es muy influenciada por el proceso geológico de la formación del suelo.

2.2.20. MODELOS CONSTITUTIVOS:

Respecto a los modelos constitutivos, QUAKE/W reconoce dos tipos de relaciones esfuerzo vs. Deformación: el modelo lineal-elástico y el modelo lineal-equivalente. Éstos pueden ser asignados a cada material independientemente.

- **Modelo lineal-elástico:** En este caso se asume un comportamiento lineal de los esfuerzos respecto a las deformaciones, lo que no resulta muy útil para representar condiciones de campo pues esta relación lineal no existe en la realidad. Aun así, se trata de una herramienta bastante práctica para aprender, probar y verificar.
- **Modelo lineal-equivalente:** En este caso, la rigidez del suelo (ya sea E ó G) se modifica en respuesta a las deformaciones computadas. Lo que hace el programa es iniciar un análisis con un valor de E ó G dado, para irlo modificando según lo indiquen las funciones especificadas.
- **Propiedades de los materiales: no-lineal vs. lineal-equivalente:** Un análisis no-lineal considera los cambios en ambos, mientras que un análisis lineal equivalente (el que utiliza QUAKE/W) solo toma en cuenta las variaciones en la relación esfuerzo-deformación entre los time steps, y calcula la variación en el exceso de presión de poros una vez terminado el análisis dinámico. Esta

incluir éste dentro de los sismos para el análisis, de tal manera que se contara con un evento reciente del 15 de agosto del 2007.

2.2.23. MODELOS DE LOS TALUDES EN GEOESTUDIO:

La información referente a los taludes (topografía, parámetros geotécnicos estáticos de los materiales y condiciones inferidas del agua subterránea) y los modelos utilizados para la presente tesis, se basarán sobre "ANÁLISIS DINÁMICO DE ESTABILIDAD DE TALUDES POR ELEMENTOS FINITOS EN LA ZONA DE HUAYLLAPAMPA DEL DISTRITO DE CUENCA - HUANCAMELICA", los modelos utilizados en la tesis serán analizadas dinámicamente.

2.2.23.1. GEOMETRÍA DE LOS MODELOS:

Algunos aspectos geométricos de los modelos de taludes los cuales serán analizados originales lo cual será necesario para generar una malla de elementos finitos más sencilla y evitar dificultades numéricas en los cálculos.

Está delimitado por acantilados de hasta 70 metros de altura. El material fluvio-aluvial, sobre el que se encuentra cimentada la mayor parte del distrito, ha sido erosionado por acciones de factores externos período cuaternario en adelante dando forma a los acantilados, los cuales consisten en taludes con una pendiente variable entre 50° y 90° (Karakouzian, Candia, Wyman, Watkins y Hudyma, 1997), tienen una longitud aproximada de 4.5 km, una elevación promedio de 45 m y una máxima de 65 m.

Están conformados el material conglomerado, compuesto por grava arenosa mal graduada (GP), densa a muy densa, sub redondeada, color gris, con bolones de hasta 20 cm. En ciertas zonas se presentan lentes de limo o arcilla. Este material tiene una muy buena resistencia al corte debido a la cementación de carbonato de calcio existente en la matriz de finos. (Karakouzian, Candia, Wyman, Watkins y Hudyma, 1997).

Algunos aspectos geométricos de los modelos de taludes los cuales serán analizados originales lo cual será necesario para generar una malla de elementos finitos más sencilla y evitar dificultades numéricas en los cálculos.

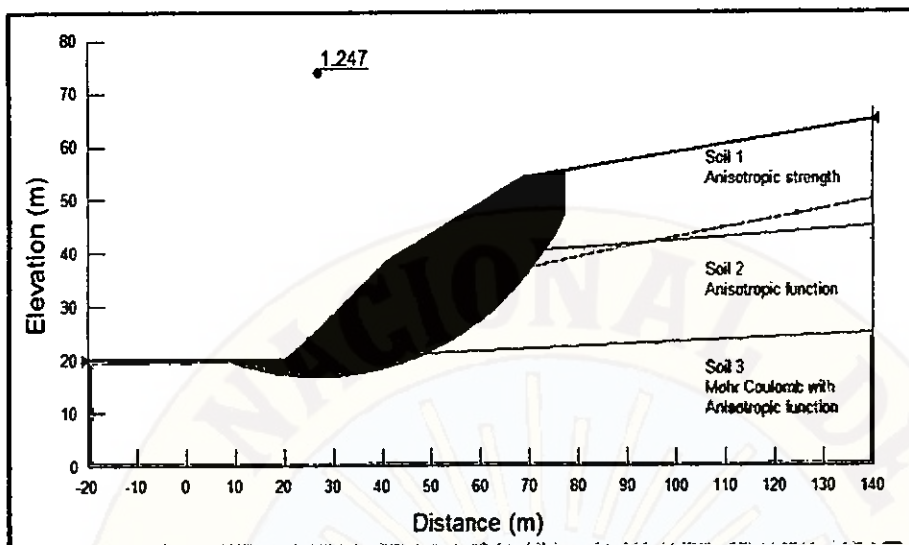


Imagen 24. Geometría de los Modelos

2.2.24. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN SUELOS

En la mayor parte de los casos la geometría de la superficie de rotura no permite obtener una solución exacta del problema mediante la única aplicación de las leyes de la estática. El problema es "hiperestático" y ha de hacerse alguna simplificación o hipótesis previa que permita su resolución.

Se pueden considerar así los métodos que consideran el equilibrio global de la masa deslizante, hoy en desuso, y los métodos de las dovelas, rebanadas, que consideran a la masa deslizante dividida en una serie de fajas verticales¹¹

Existen varios métodos de cálculo para establecer el factor de seguridad de un talud en suelos, estos son:

- Equilibrio límite de fuerzas.
- Equilibrio límite de momentos.

¹¹Tokimatsu K. y Yoshimi Y. "Field Correlation of Soil Liquefaction with SPT and Grain Size", International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, University of Missouri-Rolla, pp 203-208, 1981.

2.2.25. DEFINICIÓN DE DINÁMICA DE SUELOS:

Los ejemplos citados anteriormente han indicado la naturaleza y el alcance de la Dinámica de Suelos. En general, los problemas de ingeniería geotécnica que involucran la aplicación rápida de carga se considera que pertenecen a la Dinámica de Suelos.

Con el objeto de ser más específicos acerca de la naturaleza de los problemas dinámicos, es recomendable considerar el comportamiento de un sistema dinámico muy simple: una masa apoyada por un resorte. Para obtener una descripción matemática total del comportamiento de este sistema, es necesario considerar¹²

2.2.25.1. APLICACIONES INFORMÁTICAS:

Son numerosas las aplicaciones informáticas existentes en el mercado, capaces de resolver la estabilidad de un talud frente al deslizamiento, así como simular cargas externas, existencia de agua, terremotos, etc.

Un programa sencillo de manejar y bastante completo es el SLOPE/W.

SLOPE/W: A continuación, se enumeran las características principales del programa:

Métodos de cálculo:

- Ordinario (Fellenius).
- Bishop simplificado.
- Janbu simplificado.
- Spencer.
- Morgenstern-Price.
- Cuerpo de Ingenieros Americanos.
- Lowe-Karafiath.
- Método general de equilibrio límite.

Geometría y estratigrafía:

¹² wasaki T. (1986), "Soil Liquefaction Studies in Japan. State of the Art", International Journal of Soil dynamics and Earthquake Engineering.

- Múltiples tipos de suelos.
- Parcialmente sumergidos.
- De espesor variable.
- Estratos discontinuos.
- Capas impenetrables.
- Grietas de tracciones secas y saturadas.

Superficie de deslizamiento:

- Circular.
- Compuesta.
- Total, de rotura.
- Por bloques.

2.2.25.2. ESTABILIDAD DE TALUDES:

El problema de estabilidad de taludes puede ser abordado desde distintos aspectos. Cuando se habla de estabilidad, se trata de encontrar la altura crítica del talud o la carga de colapso aplicada sobre una porción del talud, para una geometría y características de suelo dados. Evaluar la estabilidad de un talud implica un estudio en el cual se debe, entre otros eventos: caracterizar la resistencia del suelo, establecer el perfil del talud así como las condiciones de filtración y agua subterránea, seleccionar una superficie de deslizamiento o falla y calcular su factor de seguridad, finalmente, a partir de este factor de seguridad (el cual se elige en base al destino del talud) se deberá determinar la superficie de falla crítica. Más allá del problema de la modelación material del suelo, está presente el problema del estudio de los criterios de evaluación de sistemas estructurales. En este sentido es necesario, una vez calibrados y verificado la capacidad predictiva de los modelos computacionales desarrollados, llevar a cabo análisis computarizados de sistemas estructurales que involucren complejidades relevantes, frente a acciones estáticas y dinámicas a fin de contribuir al avance

del conocimiento en lo referente a la formulación de criterios de diseño más eficientes y realistas.¹³

Dentro de este marco, se estudió el comportamiento de suelos cohesivo-friccionales con distintos niveles de humedad y condiciones de borde. Los trabajos incluyen la extensión de las formulaciones de elementos finitos utilizadas en programas ya desarrollados, para tener en cuenta variaciones de la succión durante procesos de carga y deformaciones progresivas. La consolidación de suelos parcialmente saturados y el transporte de poluentes son temas abordados por el grupo de trabajo del departamento de Mecánica Aplicada de la Facultad de Ingeniería de la UNNE (Di Rado et al., 1998; Beneyto et al., 2005). El problema de la consolidación no será tratado durante este trabajo como un objetivo en sí, pero será necesaria su implementación para el conocimiento de las tensiones efectivas en la masa de suelo, necesarias para probar la eficiencia y eficacia del modelo de suelo descripto.

Los métodos para evaluar cuantitativamente la estabilidad de los taludes son diversos. Los llamados de equilibrio límite están basados en el método de las dovelas, en el cual la masa de suelo se divide en porciones o dovelas. Se asume condiciones de equilibrio estático para una superficie de deslizamiento supuesta y se busca la superficie de deslizamiento crítica para la cual el factor de seguridad es mínimo. La diferencia entre los distintos métodos de equilibrio límite radica en las simplificaciones para reducir la indeterminación de las fuerzas entre las dovelas.

Los problemas en la estabilidad de taludes resueltos usando el método de elementos finitos tienen dos importantes distinciones con los métodos de equilibrio límite original. Primero, la ecuación de la estabilidad del talud por elementos finitos es determinada; por lo tanto, no es necesario que se hagan suposiciones para poder completar los cálculos. Segundo, la ecuación del factor de seguridad es lineal, porque la tensión normal en la base de la faja es conocida. Por otro lado, los métodos de equilibrio límite, empezando por el método simplificado

¹³ Abramson, L.W., Lee T.S., Sharma S., Boyce G.M.,(1996), "Slope stability and stabilization methods". Wiley-Interscience, 629 p.

de Bishop, han usado un factor de seguridad estimado para computar la fuerza normal en la base de la faja, hallando el factor de seguridad final a través de procesos iterativos.

El método de los elementos finitos puede usarse para estudiar la estabilidad de taludes usando una definición de falla similar a la de los métodos de equilibrio límite, éstos proponen en principio una superficie de deslizamiento para luego examinar el valor del coeficiente de seguridad de la misma, el cual se define como la relación entre la resistencia al corte disponible y la resistencia al corte movilizador a lo largo de la superficie.

2.3. HIPÓTESIS

2.3.1. HIPÓTESIS GENERAL:

Hi: El factor de seguridad es condicionante para evaluar la estabilidad de taludes en la zona de Huayllapampa del distrito de cuenca – Huancavelica en el año 2016.

Ho: El factor de seguridad no es condicionante para evaluar la estabilidad de taludes en la zona de Huayllapampa del distrito de cuenca – Huancavelica en el año 2016.

Ha: El factor de seguridad es poco condicionante para evaluar la estabilidad de taludes en la zona de Huayllapampa del distrito de cuenca – Huancavelica en el año 2016.

2.3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICO

- Los factores internos intervienen en la estabilidad de talud en la zona de Huayllapampa del distrito de cuenca – Huancavelica en el año 2016.
- Los factores externos intervienen en la estabilidad de talud en la zona de Huayllapampa del distrito de cuenca – Huancavelica en el año 2016.
- Identificando los excesos de presión de poros y las deformaciones permanentes de las posibles zonas de licuefacción se establece la seguridad para situaciones

de riesgo. en la zona de Huayllapampa del distrito de cuenca – Huancavelica en el año 2016.

2.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

2.4.1. VARIABLE INDEPENDIENTE:

- Estabilidad de talud

2.4.2. VARIABLES DEPENDIENTES:

- Factor de Seguridad

2.5. MATRIZ DE CONSISTENCIA.

Para evaluar el grado de coherencia y conexión lógica, entre los elementos que conformaron el desarrollo del presente trabajo de tesis, se utilizó como herramienta principal la matriz de consistencia. Esta fue definida al inicio y durante el proceso de elaboración de la tesis, y finalmente afianzada cuando se completó el trabajo. En el cuadro que se mostrará a continuación, se encuentra en sentido horizontal los elementos claves que englobaron el desarrollo del trabajo y en el sentido vertical la secuencia lógica de la investigación.

MATRIZ DE CONSISTENCIA

"ANÁLISIS DINÁMICO DE ESTABILIDAD DE TALUDES POR ELEMENTOS FINITOS EN LA ZONA DE HUAYLLAPAMPA DEL DISTRITO DE CUENCA - HUANCAMELICA"

PROBLEMA	OBJETIVOS	MARCO TEÓRICO	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGIAS
Problema General: ¿Cuál es el factor de seguridad de talud mediante el análisis dinámico por elementos finitos en la zona de Huayllapampa del distrito de cuenca – Huancavelica en el año 2016? Problemas Específicos ➤ ¿Cuáles son los factores internos determinantes que intervienen en la estabilidad de talud en la zona de Huayllapampa del distrito de cuenca – Huancavelica en el año 2016? ➤ ¿Cuáles son los factores externos más determinantes para determinar la estabilidad de talud en la zona de Huayllapampa del distrito de cuenca – Huancavelica en el año 2016? ➤ ¿Cuáles son los excesos de presión de poros y las posibles zonas de licuefacción que establezca garantizar la máxima seguridad para situaciones de riesgo en la zona de Huayllapampa del distrito de cuenca – Huancavelica en el año 2016?	Objetivos Generales Determinar el factor de seguridad de talud mediante el análisis dinámico por elementos finitos en la zona de Huayllapampa del distrito de cuenca – Huancavelica en el año 2016 Objetivos Específicos ➤ Determinar son los factores internos determinantes que intervienen en la estabilidad de talud en la zona de Huayllapampa del distrito de cuenca – Huancavelica en el año 2016. ➤ Determinar los factores externos más determinantes para determinar la estabilidad de talud en la zona de Huayllapampa del distrito de cuenca – Huancavelica en el año 2016. ➤ Determinar los excesos de presión de poros y las posibles zonas de licuefacción que establezca garantizar la máxima seguridad para situaciones de riesgo en la zona de Huayllapampa del distrito de cuenca – Huancavelica en el año 2016.	Antecedentes A NIVEL INTERNACIONAL ➤ (Segura, Badilla, & Obamdo, 2011), SUSCEPTIBILIDAD AL DESLIZAMIENTO EN EL CORREDOR SIQUIRRES-TURRIALBA. Revista Geológica de América Central. NIVEL NACIONAL ➤ (Urritia Verese, 2008), "ANÁLISIS DINÁMICO DE ESTABILIDAD POR ELEMENTOS FINITOS DE TALUDES DE LA COSTA VERDE EN EL DISTRITO DE MIRAFLORES". Tesis. ➤ (Granado López, 2006), "ESTABILIZACIÓN DEL TALUD DE LA COSTA VERDE EN LA ZONA DEL DISTRITO DE BARRANCO". Tesis. ➤ (Pacheco Zapata, 2006), "ESTABILIZACIÓN DE TALUDES DE LA COSTA VERDE EN EL DISTRITO DE SAN ISIDRO". Tesis. NIVEL REGIONAL ➤ (Viichez Mata, 2010), INSPECCIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN LOS SECTORES DE SANTA BÁRBARA Y POCOCCHI, DISTRITO, PROVINCIA Y REGIÓN DE HUANCAMELICA. Informe Técnico.	Hipótesis General: El factor de seguridad es condicionante para evaluar la estabilidad de taludes en la zona de Huayllapampa del distrito de cuenca – Huancavelica en el año 2016. Hipótesis Específicas ➤ Los factores internos que intervienen en la estabilidad de talud en la zona de Huayllapampa del distrito de cuenca – Huancavelica en el año 2016. ➤ Los factores externos que intervienen en la estabilidad de talud en la zona de Huayllapampa del distrito de cuenca – Huancavelica en el año 2016. ➤ Identificando los excesos de presión de poros y las deformaciones permanentes de las posibles zonas de licuefacción, se establece la seguridad para situaciones de riesgo en la zona de Huayllapampa del distrito de cuenca – Huancavelica en el año 2016	Independiente ➤ Estabilidad de taludes Dependiente: ➤ Factor de Seguridad	Tipo de Investigación: Aplicada Enfoque de la Investigación: Enfoque mixto Nivel de Investigación Descriptivo. Diseño de Investigación No Experimental - Transversal Métodos de Investigación: 1. Método Científico. 2. Métodos Prácticos. Técnicas de Recolección de Datos: Revisión bibliográfica y trabajos de campo. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos: Geostudio Versión 2012 (Slope/W – Quake/W) para el cálculo de F.S. en Taludes (ArcMap), para el cálculo de áreas de los taludes.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

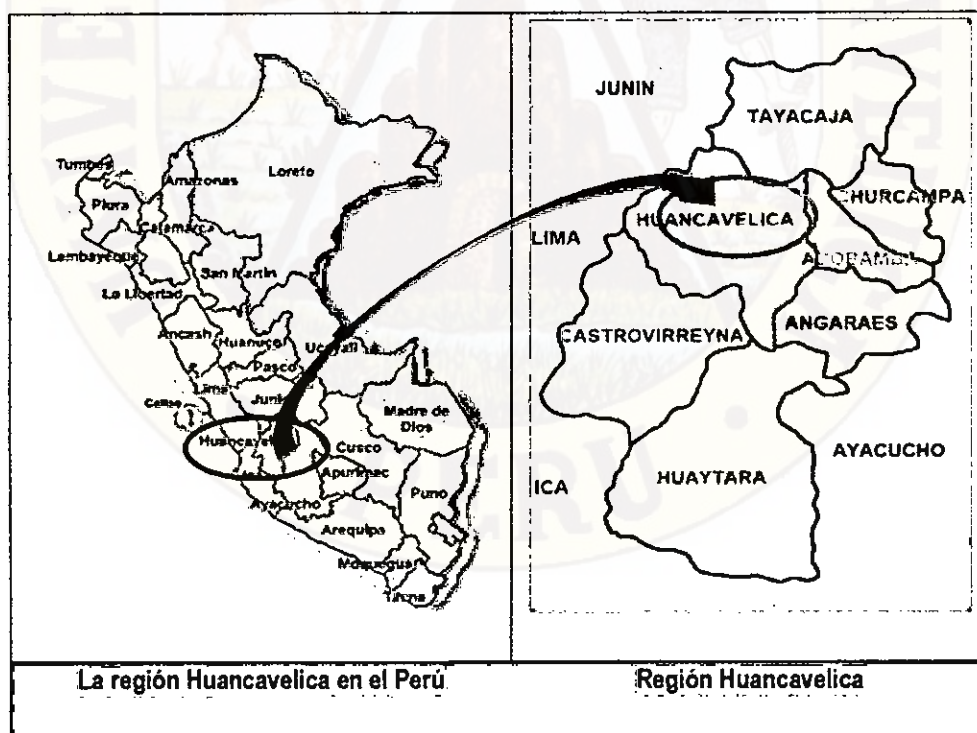
3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO

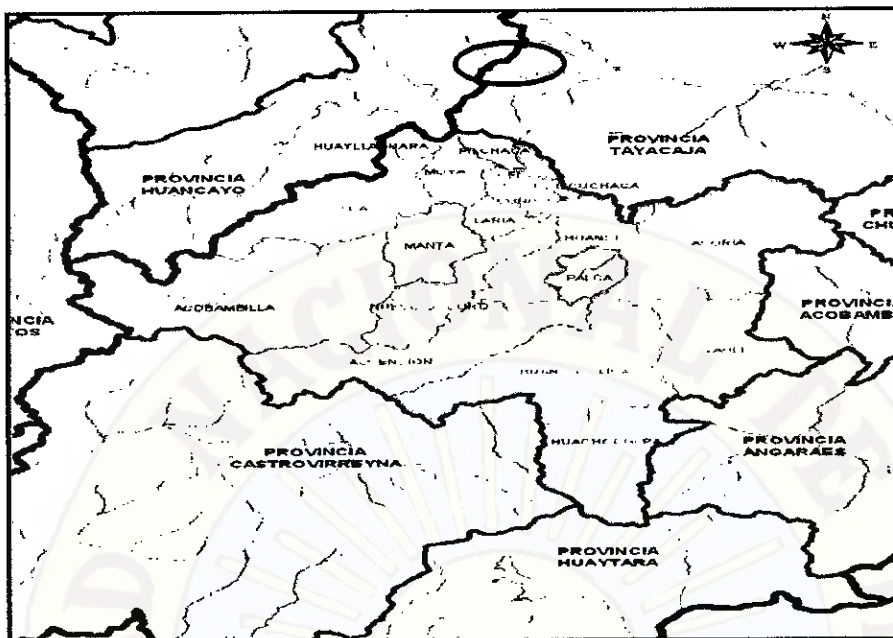
3.1.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio, está comprendido en el departamento de Huancavelica, se encuentra ubicado en la región andina (parte centro – sur del país), entre 12°25' 53.32" latitud sur; y 75°02' 07.59" longitud oeste del meridiano de Greenwich.

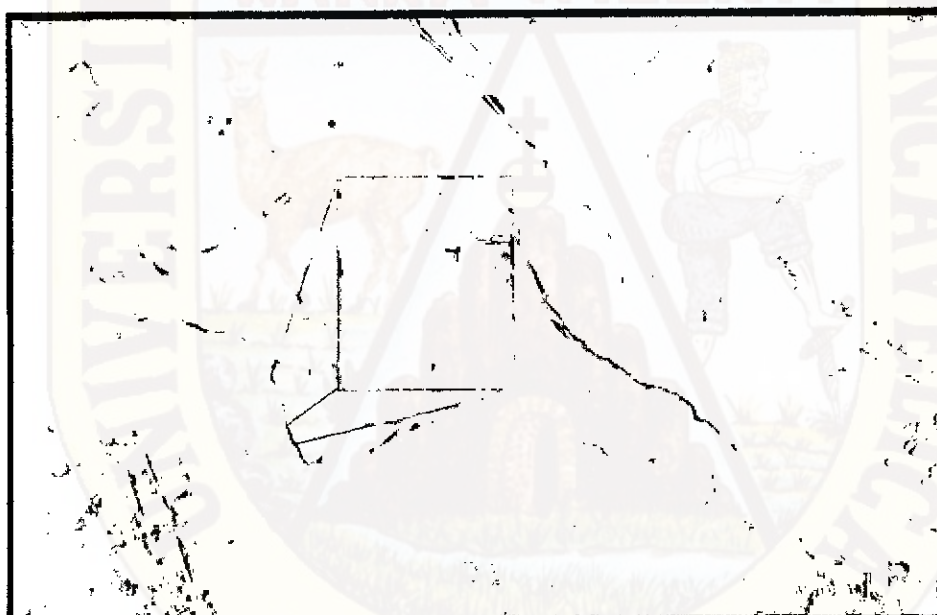
La zona de Huayllapampa del distrito de Cuenca se ubica en:

- ✓ Departamento : Huancavelica
- ✓ Provincia : Huancavelica
- ✓ Distrito : Cuenca
- ✓ -Sector : Zona de Huayllapampa





Provincia de Huancavelica-Distrito de Cuenca



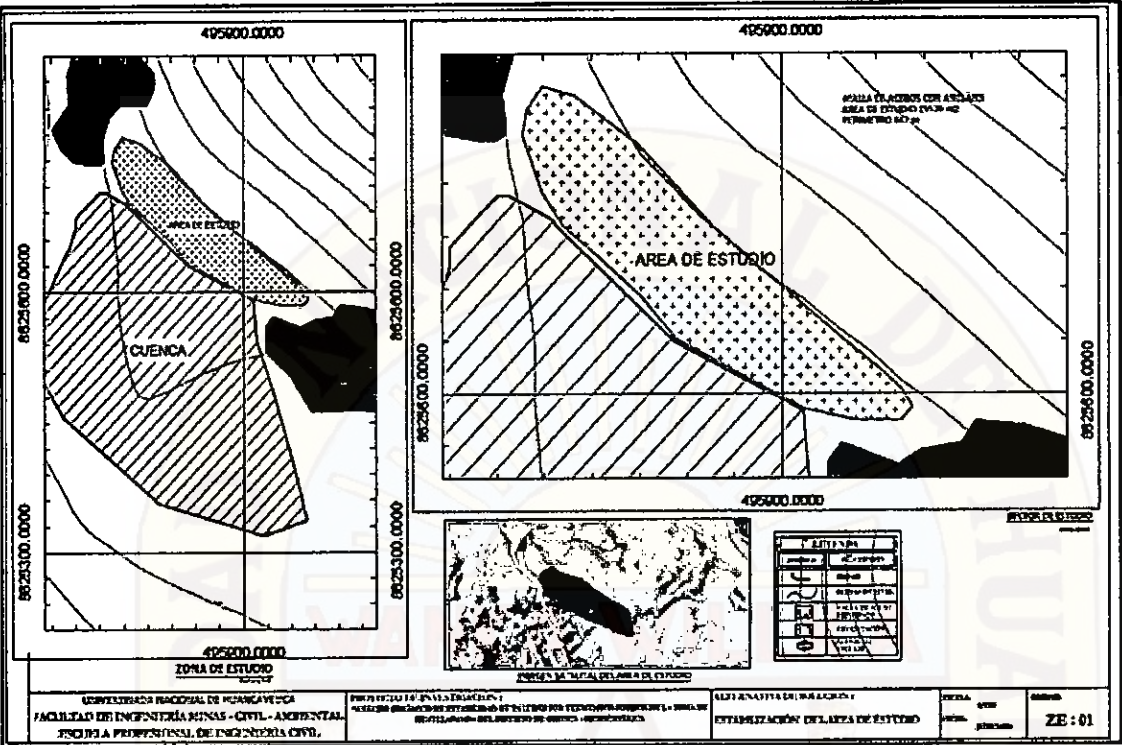
Fuente: Elaboración propia junio 2016

Zona de Huayllapampa del distrito de Cuenca

3.1.2. SUPERFICIE DE AREA DE ESTUDIO

La superficie total del área de estudios es de 422,089.70m², cuya superficie se muestra en la siguiente imagen:

Mapa 1: Sector del área de Estudio



Fuente: Elaboración propia junio 2016

3.1.3. DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO:

Se encuentra ubicado en las coordenadas UTM-WGS84, 8625649 N y 495895 E

La zona de Huayllapampa, presenta un cuerpo de un evento inactivo aparentemente estable, Actualmente, el cuerpo del talud de la zona de Huayllapampa sin vegetación.

El segundo, es un deslizamiento antiguo reactivado, de escarpa semicircular de aproximadamente 75 m de ancho y alto principal de 1 m. En el cuerpo de este deslizamiento antiguo, se ha identificado la presencia de agrietamientos, que según relatos de los pobladores de la zona, llegaron a tener 0,30 m de abertura, los cuales fueron rellenados con arcilla. Al momento de la inspección, se pudo constatar que los movimientos en el cuerpo del deslizamiento se siguen produciendo, ya que la grieta anteriormente tapada, presenta nuevas aberturas del orden de pocos milímetros.

Mapa 4: Se observa grietas a causa de los asentamientos del terreno.



En esta zona, se ha abierto una tubería para impedir que las aguas de escorrentía lleguen a la grieta.

El peligro geológico identificado en esta zona, se refiere a un movimiento complejo, acompañado de una avalancha de rocas antiguas.

Movimiento complejo: caída de rocas-flujo de detritos, evento activo y con movimiento rápido, compromete un afloramiento rocoso de rocas, fracturadas y suelo arcillo-arenoso, saturado por las precipitaciones pluviales excepcionales caídas en la zona. La ladera superior se presenta cubierta por pastizales.

Se ha podido identificar en la zona, la ocurrencia un evento: un derrumbe ocurrido en el año 2014 el último evento un derrumbe-flujo ocurrido en enero. El último evento produjo la caída de árboles de eucalipto y bloques de roca de más de longitud considerable, los materiales caídos se movilizaron ladera abajo a manera de flujo de detritos (huaycos), cubriendo y pasando por encima de todo causando gran embalsamiento del río Mantaro.

El evento destruyó parte de una vivienda y afectó otras tantas, con el lodo que acarreó.

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN:

La investigación es del TIPO APLICADA, debido a que los alcances de esta investigación son más prácticos, y se sustentan a través de normas, leyes, manuales, software y de instrumentos técnicos para la recopilación de información. Este planteamiento da como resultado el sustento empírico y cuantitativo que nos permite llegar a las conclusiones finales de nuestro trabajo de investigación a la vez que enriquece al conocimiento teórico del problema planteado.

3.3. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación, según la naturaleza de la información recabada para responder el problema de investigación, es de **Enfoque Mixto**.

3.4. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Según la naturaleza y profundidad de la investigación, es de Nivel **Descriptivo**, por lo que el propósito de estudio responde a los objetivos de la investigación a través del cual buscamos de manera especial las características y parámetros más importantes del análisis que se realizara a la estructura de talud, para posteriormente describir los resultados obtenidos

3.5. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

No experimental – Transversal descriptivo, No experimental porque no se manipula deliberadamente las variables de estudio. Transversal, porque describe las variables y analiza su incidencia en un momento dado.

3.6. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

El estudio de las condiciones de estabilidad de un talud, ha de comenzar necesariamente, por una serie de investigaciones preliminares, tanto en campo, como en gabinete, que permitan establecer un marco de referencia para su correspondiente análisis a detalle. A continuación, describimos los métodos que viabilizaron la respectiva investigación:

3.6.1. MÉTODO CIENTÍFICO

El presente método, se utiliza para desarrollar un conjunto de fases o etapas, donde los procedimientos se ciñen a lo establecido:

- Identificación del problema de investigación.
- Formulación del problema de investigación. De tal manera que su solución sea viable y posible.
- Identificación de objetivos y justificación del estudio.
- Formulación de la hipótesis de investigación
- Antecedentes y bases teóricas - revisión bibliográfica.
- Visita de campo (directo e indirecto) y ensayos en laboratorio.
- Recopilación de información de la zona de estudio.
- Desarrollo de modelo y procesamiento de datos con el propósito de proporcionar nuevos conocimientos teóricos (Quake/W, Slope/W).
- Evaluación del factor de seguridad mediante Análisis Determinístico -
 - Métodos de equilibrio límite y elementos finitos.
- Interpretación de resultados y discusiones.
- Métodos y sistemas de estabilización (metrados, planos y presupuesto).

- La guía profesional del asesor de tesis es requerida para el desarrollo de fases de la investigación en el antes, ejecución, finalización y publicación de la investigación.

3.10. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

3.10.1. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Las técnicas de procesamiento y análisis de datos serán:

Cuantitativas:

- Con los resultados de los ensayos obtenidos en laboratorio se analiza la estructura en la cual se realizara un modelamiento, análisis y evaluación con software de calculo Geodinamico "Geoestudio 2012"

Cualitativas:

- Se describe los comportamientos según el análisis de los resultados obtenidos en la investigación
- Se realizara el Analisis de Estabilidad de Taludes con Elementos finitos utilizando el software GEOSTUDIO 2012, mediante sus aplicacionse de QUAKE/W y SOPE/W, analisis del cual se obtendran los datos necesarios para poder determinar el Factor de Seguridad de la estructura.

3.10.2. SOFTWARE ESPECIALIZADOS EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRAFICA

- (ArcMap), Global Mapper, Google Earth Pro para el cálculo de áreas de estudio.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1.1. RESULTADOS DEL METODO MORA VAHRSON

4.1.1.1. FACTOR PENDIENTE (SP).

Con la información resultante del levantamiento topográfico del área de estudio, se obtuvo curvas de nivel a cada 25m, con la cual pudo generar un modelo 3D en referencia a su altura sobre el nivel del mar, para posteriormente rasterizar esta información y clasificarla de acuerdo a su pendiente.

La presencia de pendientes fuertes a muy fuertes lo que significa según la clasificación de Mora Vahrson, nuestra área de estudio se encuentra en nivel de susceptibilidad por pendiente 7 y 10, manifestando procesos denudaciones y alto peligro a deslizamientos.

4.1.1.2. FACTOR DE HUMEDAD DEL SUELO (Sh).

SE recurrió a la estación meteorológica HUANCVELICA/000649/DRE-11, obteniendo de esta, las precipitaciones mensuales.

Con estos valores se establecen rangos del factor humedad del suelo, de acuerdo a la metodología Mora Varhrson, en el cual estable que precipitaciones inferiores a 125 mm, no conduce a un aumento de humedad en el terreno; por el contrario, precipitaciones entre 125 y 250 mm si las incrementa.

De acuerdo a los cálculos realizados, el valor de la humedad llega a 6, por lo cual este describe una susceptibilidad por Humedad baja.

4.1.1.3. FACTOR GEOLÓGICO-LITOLÓGICO (SI)

Respecto a la valoración cualitativa del factor litológico (SI), se partió de la descripción de las unidades litológicas y sus características geotécnicas, en las cuales se identificó las formaciones geológicas de Fm., nuestra área de estudio se encuentra en nivel de susceptibilidad geológica 2 y 3, lo cual indica la alta susceptibilidad del factor para el desencadenamiento de un deslizamiento.

4.1.1.4. SISMOLOGÍA

Referente a la intensidad sísmica del área de estudio, se tiene en cuenta el mapa de intensidad sísmica INDECI PNUD PER/02/051-00014426, donde se identifica los registros de intensidad sísmica de VI, VII y VIII ubicados indistintamente en el Departamento de Huancavelica; lo que significa que el área de estudio en su totalidad registra una intensidad Sísmica de VII, según Mora Vahrson, este calificativo se encuentra en nivel de susceptibilidad sísmica medio con un valor ponderado de 05.

4.1.1.5. FACTOR INTENSIDAD DE LLUVIA

De acuerdo a la metodología Mora Vahrson, al obtener una precipitación máxima de 44.0 mm en 24 horas < 100, posee una susceptibilidad muy bajo.

4.1.1.6. INTERVENCIÓN ANTRÓPICA

Identificada en el área de estudio, corresponde a la expansión poblacional del distrito de Cuenca, la cual se manifiesta con la construcción de viviendas al pie de los taludes del área de estudio.

4.1.1.7. COBERTURA VEGETAL

La cobertura vegetal dominante en el área de estudio, son la presencia de pequeños arbustos y plantas herbáceas (pastos naturales), para efectos de nuestro estudio, consideraremos como cobertura vegetal los arboles de eucaliptos.

Tabla 1: Área de cobertura vegetal

UBICACIÓN	AREA TOTAL M2	AREA CON COBERTURA VEJETAL M2	PORCENTAJE %
Zona de Huayllapampa	25,768.68	8,465.23	32.85%

4.1.2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DETERMINÍSTICO

4.1.2.1. RESULTADOS DE LA MUESTRA

Para la realización del análisis determinístico, optaremos por el análisis de equilibrio límite y elementos finitos, para lo cual se requiere parámetros básicos, tales como: Angulo de Fricción (ϕ), Cohesión (C), y el peso específico (γ); por lo que se tomó puntos de exploración por cada sub sector de estudio. Para la obtención de estos parámetros se realizó el ensayo de Corte Directo.

Tabla 4: propiedades mecánicas de las muestras de suelo

Ubicación	Tipo de ensayo	% Grava	% Arena	% Finos	γ (TN/m3)	C(kg/cm2)	ϕ (°)	Observación
C-1	Corte directo	82.58	30.56	24.06	2.03	0.19	21.37	Remoldeada
C-2	Corte directo	40.24	8.61	6.28	2.11	0.28	23.68	Remoldeada

Por medio del ensayo de corte directo, se obtuvieron las propiedades de los materiales.

4.1.2.2. FACTOR DE SEGURIDAD

A. ANÁLISIS ESTÁTICO

Para el desarrollo del análisis estático, se utilizó el método de Equilibrio Límite Plástico de Bishop, Ordinary Spencer y Jambu, en el que se considera no solo el equilibrio normal y tangencial (equilibrio de fuerzas), sino también el equilibrio de momentos para cada rebanada del análisis, lo cual hace este método más confiable, pues se acerca más a la realidad. Además, se empleó el método de elementos finitos, el cual divide la masa del suelo en unidades discretas, de esta manera se optimicen datos más aproximados a la realidad.

En siguiente cuadro se presenta el factor de seguridad obtenido en la zona de Huayllapampa.

Tabla 5: Factor de seguridad en la zona de estudio.

SECTOR	METODOS DE EQUILIBRIO LIMITE				ELEMENTOS FINITOS	CONCLUSIÓN
	BISHOP	ORDINARY	SPENCER	JAMBU		
Z.H - C1	1.022	0.874	0.951	0.865	1.078	INESTABLE
Z.H - C2	1.021	0.868	0.849	0.973	1.231	INESTABLE

Partiendo de la premisa que un talud es inestable, si su FS es menor que 1, la Tabla 1, nos muestra que los taludes de la zona de Huayllapampa los métodos de Ordinary spencer y Jambu, advierten la inestabilidad de los sectores al tener un factor de seguridad menor a 1.

B. ANÁLISIS DINÁMICO

Para el desarrollo del análisis dinámico, se ha tomado en consideración, la combinación de la acción de las cargas sísmicas y la disminución de la resistencia, que produce una disminución o un aumento en la estabilidad del talud.

Para efectuar el análisis dinámico de la estabilidad de taludes, se optó por incluir el sismo del 20 de octubre del 2006, el cual fue registrada por la Pontificia Universidad Católica del Perú, cuyos registros nos facilitaron para la realización de la presente tesis. Los gráficos y datos de los registros de aceleraciones, se pueden encontrar en los anexos.

Tabla 6: Datos de eventos sísmicos

FECHA DE SISMO	LUGAR	MAGNITUD	DURACIÓN APROX.	ACELERAC. PICO E-W(g)	ACELERAC. PICO N-S(g)	ACELERAC. PICO U-D(g)
20 DE OCTUB 2006	PISCO	6.7*	42.1	0.0015**	0.021**	0.014

Para el análisis se asumirá que los patrones del sismo del 20 de octubre de 2006, se replican en la ciudad de Huancavelica, ya que, en la ciudad de Huancavelica, no existen registros sísmicos.

A continuación, se presentan las gráficas de la variación del factor de seguridad, para las superficies de falla consideradas críticas y para las secciones analizadas, bajo el efecto de las componentes horizontal y vertical del sismo.

Gráfico 1: Resultados de factor de Seguridad vs, Tiempo, bajo el efecto del sismo del 20 de octubre de 2006 (M-1)

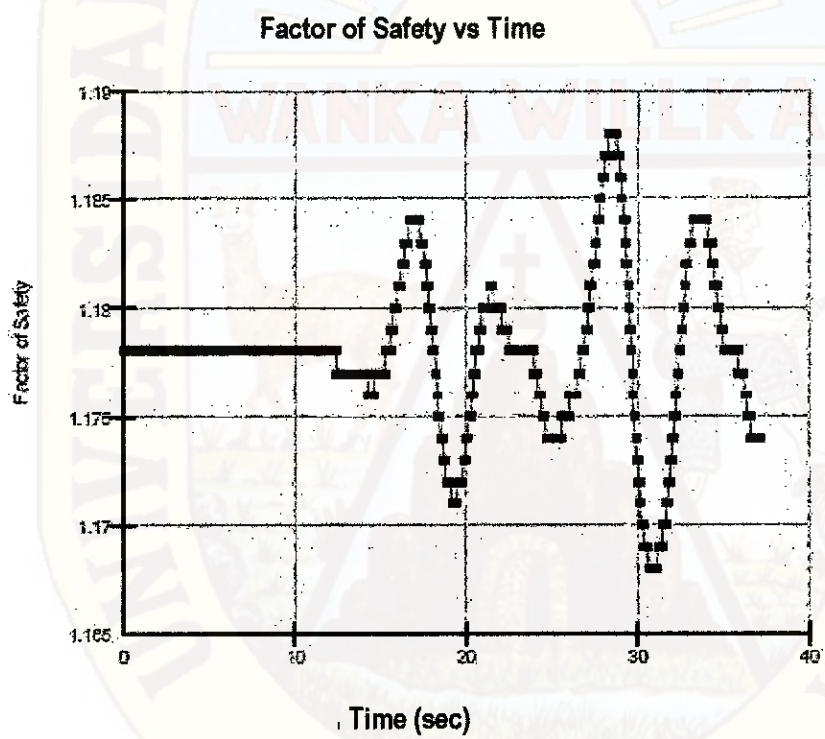
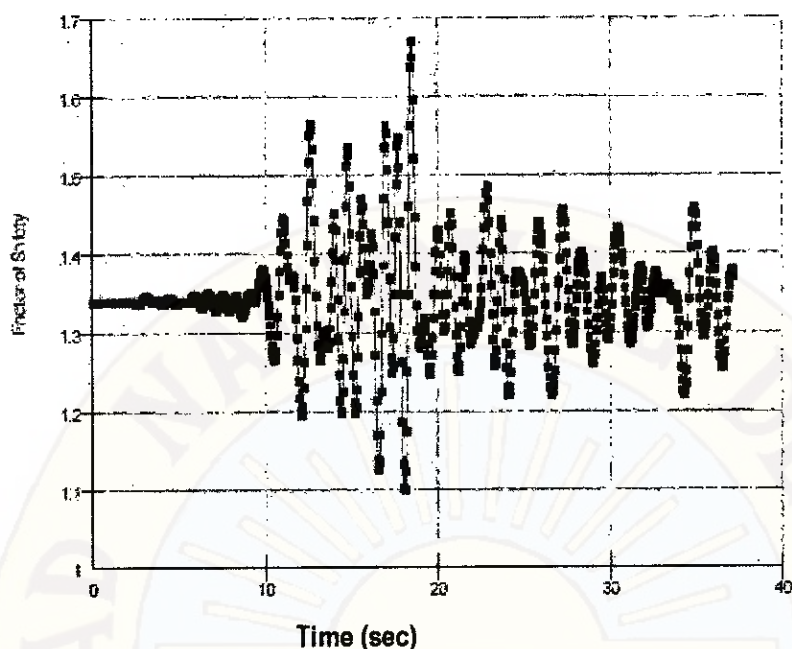


Gráfico 2: Resultados de factor de Seguridad vs, Tiempo, bajo el efecto del sismo del 20 de octubre de 2006 (M-2)

Factor of Safety vs Time



De los gráficos mostrados, podemos concluir que el talud de la zona de Huayllapampa bajo un sismo de magnitud de 6.7, son inestables al presentar factores de seguridad por debajo de 1.25.

4.1.3. SISTEMA DE ESTABILIZACIÓN PROPUESTO

La intervención humana sobre el entorno natural provoca cambios que, muchas veces, se traducen en un deterioro ambiental y modificaciones en el relieve, lo que conlleva al desarrollo de acciones destinadas a minimizar el impacto negativo provocado en las zonas afectadas. Una de las soluciones utilizadas es la construcción de taludes tendientes a estabilizar y contener los terrenos alterados, cuyas capas superficiales pueden presentar fallas o erosiones debido a la acción de diversos agentes como el clima, la geología, etc

La geografía accidentada sumada a los cambios que conlleva la expansión territorial en el medio natural, los que incluyen fuertes alteraciones del relieve, cortes para creación de carreteras, caminos y obras civiles, hacen necesaria la implementación de diferentes sistemas de estabilización de taludes, que impidan el desprendimiento

de suelo y roca. En este contexto, se pretende determinar, mediante el estudio y análisis del sistema flexible TECCO®, si este sistema de estabilización superficial, basado en el uso de mallas de alambre de acero de alta resistencia en combinación con pernos de anclaje, es una solución adecuada ante las inestabilidades superficiales que afectan a los taludes

Identificado como taludes inestables la zona de Huayllapampa, la presente tesis propone como solución el SISTEMA FLEXIBLE DE ESTABILIZACIÓN a través de mallas de acero y pernos de anclaje.

4.1.3.1. INCREMENTOS DEL FACTOR DE SEGURIDAD

La solución planteada, a través de malla de acero y pernos de anclaje (sistema flexible), en los taludes inestables en la zona de Huayllapampa, se busca el incremento del Factor de Seguridad, el cual fue posible y se detalla a continuación:

Tabla 7: Incremento del Factor de Seguridad

SECTOR	METODOS DE EQUILIBRIO LIMITE				CONCLUSIÓN
	BISHOP	ORDINARY	SPENCER	JAMBU	
Z.H - C1	1.022	0.874	0.951	0.865	INESTABLE
Z.H. - C2	1.021	0.868	0.849	0.973	INESTABLE
CON SISTEMA DE ESTABILIZACION					
CON SISTEMA DE ESTABILIZACION					

CON SISTEMA DE ESTABILIZACION					
SECTOR	METODOS DE EQUILIBRIO LIMITE				CONCLUSIÓN
	BISHOP	ORDINARY	SPENCER	JAMBU	
Z.H - C1	1.378	1.261	1.365	1.22	ESTABLE
Z.H. - C2	1.241	1.165	1.225	1.167	ESTABLE

4.2. DISCUSIONES

- La teoría divide a los taludes en estables o inestables. Los taludes estables, que son los que no se han caído, tienen un coeficiente de seguridad superior a 1. Los taludes inestables, que son los que se han caído total o parcialmente, tienen un coeficiente de seguridad inferior a 1. Esta simplista dicotomía, no se sostiene en la práctica. Los taludes no se caen bruscamente cuando su coeficiente de seguridad pasa de 1.01 a 0.99. En realidad, la rotura de un talud es un proceso largo, que empieza con deformaciones y roturas parciales que culminan, o no, en una rotura general.
- La norma E.050 de suelos cimentaciones menciona que el factor de seguridad en taludes en condiciones estáticas debe cumplir lo siguiente: $FS < 1.5$; EL TALUD ES INESTABLE y si $FS > 1.5$; EL TALUD ES ESTABLE, dentro del cual en el análisis realizado del talud arroja un $FS < 1$; por lo cual es inestable.
- Para condiciones sísmicas la norma E.050 de suelos cimentaciones menciona que el factor de seguridad en taludes en condiciones sísmicas debe cumplir lo siguiente: $FS < 1.25$; EL TALUD ES INESTABLE y si $FS > 1.25$; EL TALUD ES ESTABLE, dentro del cual en el análisis realizado del talud dan como resultado un $FS < 1.25$; por lo cual es inestable.
- El sistema de estabilización planteado para el talud; mallas de acero y pernos de anclaje son una alternativa que se podría optar por lo que con este refuerzo el factor de seguridad cumple con las condiciones mínimas establecidas en la norma E.050.
- Los factores de seguridad obtenidos por el método de elementos finitos con el análisis estático inicial, concuerdan con los resultados del análisis de estabilidad estática convencional (método de Spencer). Si bien es cierto, los primeros suelen ser un poco más altos que los segundos, esto se debe a que el método convencional realiza sus formulaciones de manera conservadora.
- La diferencia entre los factores de seguridad, radica en la concentración de esfuerzos de corte, que ocurren en algunas zonas del talud (al pie y en general donde haya un cambio brusco de pendiente). Esta concentración de esfuerzos, no se ve reflejada en

los análisis convencionales y de ahí proviene la diferencia en los resultados. Esta diferencia variará dependiendo de la posición de la superficie de falla analizada respecto a las zonas de concentración de esfuerzos.



CONCLUSIONES

De los resultados del análisis de estabilidad de taludes de la presente tesis se puede concluir lo siguiente:

- Del análisis estático, la zona de Huayllapampa, es inestable por tener $FS < 1$. Ya que la norma E-050 especifica tal condición que si el FS es menor a 1, por lo tanto es inestable.
- Del análisis Dinámico, para un sismo de 6.7, la variación de los factores de seguridad obtenidos en esta tesis los taludes de los FS nunca bajó de 1.20.
- Los factores internos determinantes que tienen más ponderación para la inestabilidad de taludes en nuestra área de estudio son: la pendiente y la litología.
- De los dos factores externos analizados, se pudo observar que las precipitaciones no tienen gran implicancia para la inestabilidad de taludes.
- El factor sismo, tiene una gran ponderación ya que, en su ocurrencia, existe una probabilidad de falla de los taludes inestables.
- Para la estabilización más eficiente, es el sistema flexible de mallas de acero y pernos de anclaje, el cual sí garantiza la estabilidad de los taludes en la zona de Huayllapampa.
- El sector analizado es inestables al tener varias fluctuaciones por debajo de 1.25.

RECOMENDACIONES

- El área de estudio presenta una vulnerabilidad alta por lo cual se recomienda la implementación de equipos, para la monitorización de la posible activación de movimientos y sus respectivos.
- La recomendación para la zona de Huayllapampa es implantar de forma urgente las medidas de estabilización de talud para así poder prevenir desastres que se pudiera presentar en épocas de avenidas o ante un posible movimiento sísmico.
- Se plantea que por razones técnicas, económicas, facilidad de proceso constructivo y del proceso de impacto ambiental, se recomienda como solución para el problema de inestabilidad, el sistema flexible de mallas de acero y pernos de anclaje, y a la vez la revegetación del área de estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alonso Vargas (2007), *Tesis: Estabilidad de Taludes*, Manuel Olcese. Pontificia Universidad Católica del Perú, Departamento de Ingeniería Civil. Lima, Perú. - 2007
- R. Hernández S., C. Fernández (2010) C., M. Baptista L., *Metodología de la Investigación*, 5ta edición 2010.
- Estado Vargas (2013) Metodología para la Generación de un Modelo de Zonificación de Amenaza por Procesos de Remoción en Masa, en la Cuenca del Río Camurí Grande, Venezuela
- Di Rado H., Mroginski J., y Awruch A (2005). *A model for the analysis of consolidation in unsaturated soils based in state combinations* (in Spanish). *Mecánica Computational*, 24:515–527,
- Bishop A.W. (1995) *"The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes"*. *Geotechnique*. Vol 5
- John Krahn, (2004). *Dynamic Modeling with QUAKEW: An Engineering Methodology*. First Edition.
- John Krahn, Stability (2004) *Modeling with SLOPE/W: An Engineering Methodology*. First Edition.
- S.K. Haigh, B. Ghosh, S.P.G. Madabhushi, (2005). *Importance of Time Step Discretization for Nonlinear Dynamic Finite Element Analysis*
- Oñate, E., Torroja, J., Versión Española, (1982) *The Finite Element Method*, Third Edition, Editorial Reverte S.A., Barcelona, España.
- Jaime, S, (15 de junio de 2013). *Deslizamientos: Análisis geotécnico*, Obtenido de <http://www.google-com-pe:erosion.com.co>
- Jiménez S, J. (1981). *Geotecnia y Cimentaciones II*. Madrid: Rueda
- Keefer, D.K (1984). *Landslides Caused by earthquakes*. Obtenido de *Geol. Soc. Am. Bull.*

- Kerguelen Argumedo, A. (2009). *Análisis probabilístico de Estabilidad de Taludes. Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes*, Recuperado el 12 de febrero de 2014, Colombia.
http://biblioteca.uniandes-edu.co/Tesis_22009_primer semestres/775.pdf
- Martinez, G. (1998). *Litología, aprovechamiento de rocas industriales y riego de deslizamiento de la comunidad Valencia*. Recuperado el 08 de Noviembre de 2013, de
http://www.cma.gva.es/áreas/urbanismo_ordenación/infadm/publicaciones/pdf/litología/LITOLOGIAS-pdf
- Mora Ortiz, R., & Rojas Gonzales, E. (2009). *Análisis del efecto del humedecimiento en la falla de talud en KM 240+000 del cuerpo A de la autopista Cuernavaca-Acapulco*. Recuperado el 13 de enero de 2014 de Revista de Ingeniería.
http://www.revista.ingenieria.uady.mx/volumen13/análisis_efecto.pdf.
- Mora, R Vahrson. W. (1992). *Mapa de Amenaza de Deslizamiento. Centro de Coordinación para la prevención de Desastres naturales en América Central (CEPRENAC)*, Valle Central, Costa Rica.
- Ortuño Abad, L. (2003). *Curso de Geotecnia para Infraestructuras*, Recuperado el 08 de noviembre de 2013, de Sevilla:
<http://www.urielyasociados.es/img/formación/ponencia4.pdf>
- Pacheco Zapata, A.A. (20006). *Estabilización de Taludes dela costa verde en distrito de san Isidro, Tesis de Grado, facultad de Ciencias de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú*.
- Rico Rodriguez, A. (2005). *La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres: Carreteras, Ferrocarriles y aeropistas. Volumen 1*. México: Limusa
- Sanhueza Plaza, C., & Rodríguez Cifuentes, L. (2013). *Análisis Comparativo de métodos de cálculo e estabilidad de taludes aplicados a laderas naturales*. Recuperado el 15 de enero de 2014, de Revista de la construcción N° 01, Vol. 12:
<http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=18-915X2013000100003&script=sciarttext>
- Urritea Verese. P. (2008). *Análisis dinámico de estabilidad por elementos finitos de taludes de la costa verde en el distrito de Miraflores, Tesis de Grado, Facultad de*

Ciencias e Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú. Obtenido de <http://tesis.pucp.edu.pe>

Van Westwn, C. (1993), *Application of geographic Information System to landslide*. ITC - Publication nº 15 ITC, 45.

Van Zuidam. R. (1986). *Aerial photo-interpretation in terrain analysis and geomorphologic mapping* Smith Publishers, The Hague.

Toro, L. J. (2012). *Análisis de Estabilidad y Probabilidad de Falla en Taludes*. *Boletín de Ciencias de la Tierra-Medellín*, 120.

Badillo, E J (2005) *Fundamentos de mecánica de suelos*. México: Noruega Editores

Braja M.D. (1999) *Fundamento de Ingeniería Geotécnica*. México Edit. Thomson Editores.

Granada López A. (2006). *Estabilización de Taludes de la costa verde en la Zona del Distrito de Barranco*. Tesis de Grado, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Perú.

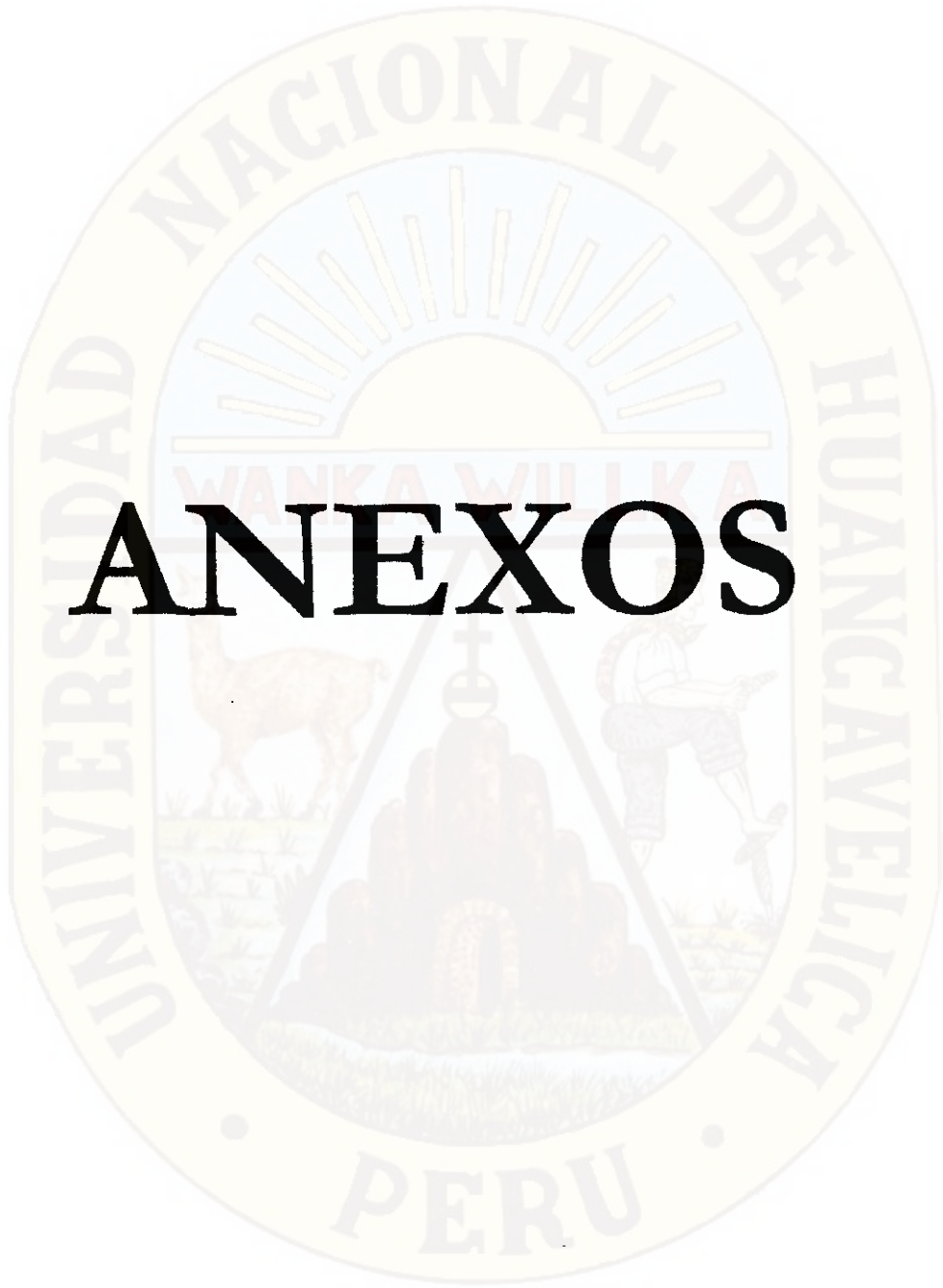
Pacheco Zapata A.A. (2006). *Estabilización de Taludes de la costa verde en la Zona del Distrito de San isidro*. Tesis de Grado, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Perú.

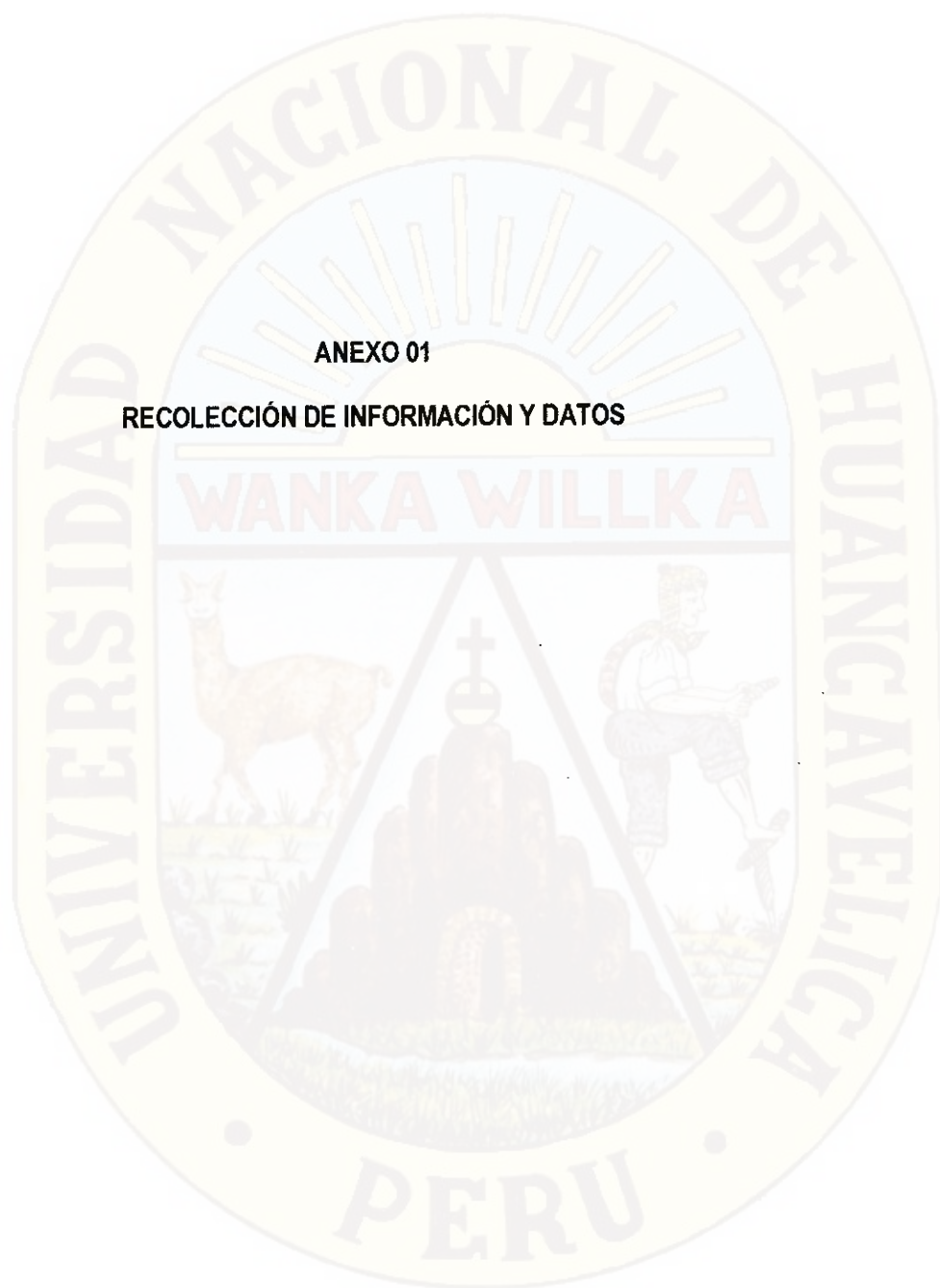
Pereira, M (2012) *Método de Análisis de Estabilidad de Taludes*. *Facultad de Ciencias e Ingeniería*, Universidad central de Venezuela.

Castañon Garay, P (2011) *Calculo de Factor de Erosión de la lluvia*, *Universidad Nacional Autónoma de México*.

Almaguer, Y. (2005). *Evaluación de la Susceptibilidad del Terreno a la Rotura por Desarrollo de Deslizamientos en el yacimiento Punta gorda*. *Revista Minería Y geología*.

ANEXOS





ANEXO 01

RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN Y DATOS

MATRIZ DE CONSISTENCIA					
"ANÁLISIS DINÁMICO DE ESTABILIDAD DE TALUDES POR ELEMENTOS FINITOS EN LA ZONA DE HUAYLLAPAMPA DEL DISTRITO DE CUENCA - HUANCAMELICA"					
PROBLEMA	OBJETIVOS	MARCO TEÓRICO	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGIAS
Problema General: ¿Cuál es el factor de seguridad de talud mediante el análisis dinámico por elementos finitos en la zona de Huayllapampa del distrito de cuenca – Huancavelica en el año 2016? Problemas Específicos ➤ ¿Cuáles son los factores internos determinantes que intervienen en la estabilidad de talud en la zona de Huayllapampa del distrito de cuenca – Huancavelica en el año 2016? ➤ ¿Cuáles son los factores externos más determinantes para determinar la estabilidad de talud en la zona de Huayllapampa del distrito de cuenca – Huancavelica en el año 2016? ➤ ¿Cuáles son los excesos de presión de poros y las posibles zonas de licuefacción que establezca garantizar la máxima seguridad para situaciones de riesgo en la zona de Huayllapampa del distrito de cuenca – Huancavelica en el año 2016?	Objetivos Generales Determinar el factor de seguridad de talud mediante el análisis dinámico por elementos finitos en la zona de Huayllapampa del distrito de cuenca – Huancavelica en el año 2016 Objetivos Específicos ➤ Determinar son los factores internos determinantes que intervienen en la estabilidad de talud en la zona de Huayllapampa del distrito de cuenca – Huancavelica en el año 2016. ➤ Determinar los factores externos más determinantes para determinar la estabilidad de talud en la zona de Huayllapampa del distrito de cuenca – Huancavelica en el año 2016. ➤ Determinar los excesos de presión de poros y las posibles zonas de licuefacción que establezca garantizar la máxima seguridad para situaciones de riesgo en la zona de Huayllapampa del distrito de cuenca – Huancavelica en el año 2016.	Antecedentes A NIVEL INTERNACIONAL ➤ (Segura, Badilla, & Obando, 2011), SUSCEPTIBILIDAD AL DESLIZAMIENTO EN EL CORREDOR SIQUIRRES-TURRIALBA. Revista Geológica de América Central. NIVEL NACIONAL ➤ (Urrutia Verese, 2008), "ANÁLISIS DINÁMICO DE ESTABILIDAD POR ELEMENTOS FINITOS DE TALUDES DE LA COSTA VERDE EN EL DISTRITO DE MIRAFLORES". Tesis. ➤ (Granado López, 2006), "ESTABILIZACIÓN DEL TALUD DE LA COSTA VERDE EN LA ZONA DEL DISTRITO DE BARRANCO". Tesis. ➤ (Pacheco Zapata, 2006), "ESTABILIZACIÓN DE TALUDES DE LA COSTA VERDE EN EL DISTRITO DE SAN ISIDRO". Tesis. NIVEL REGIONAL ➤ (Vilchez Mata, 2010), "INSPECCIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN LOS SECTORES DE SANTA BÁRBARA Y POTOCCHI, DISTRITO, PROVINCIA Y REGIÓN DE HUANCAMELICA". Informe Técnico.	Hipótesis General: El factor de seguridad es condicionante para evaluar la estabilidad de taludes en la zona de Huayllapampa del distrito de cuenca – Huancavelica en el año 2016. Hipótesis Específicas ➤ Los factores internos que intervienen en la estabilidad de talud en la zona de Huayllapampa del distrito de cuenca – Huancavelica en el año 2016. ➤ Los factores externos que intervienen en la estabilidad de talud en la zona de Huayllapampa del distrito de cuenca – Huancavelica en el año 2016. ➤ Identificando los excesos de presión de poros y las deformaciones permanentes de las posibles zonas de licuefacción, se establece la seguridad para situaciones de riesgo en la zona de Huayllapampa del distrito de cuenca – Huancavelica en el año 2016	Independiente ➤ Estabilidad de taludes Dependiente: ➤ Factor de Seguridad	Tipo de Investigación: Aplicada Enfoque de la Investigación: Enfoque mixto Nivel de Investigación Descriptivo. Diseño de Investigación No Experimental - Transversal Métodos de Investigación: 1. Método Científico. 2. Métodos Prácticos. Técnicas de Recolección de Datos: Revisión bibliográfica y trabajos de campo. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos: Geoestudio Versión 2012 (Slope/W – Quake/W) para el cálculo de F.S. en Taludes (ArcMap), para el cálculo de áreas de los taludes.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

[illegible]

PRESUPUESTO

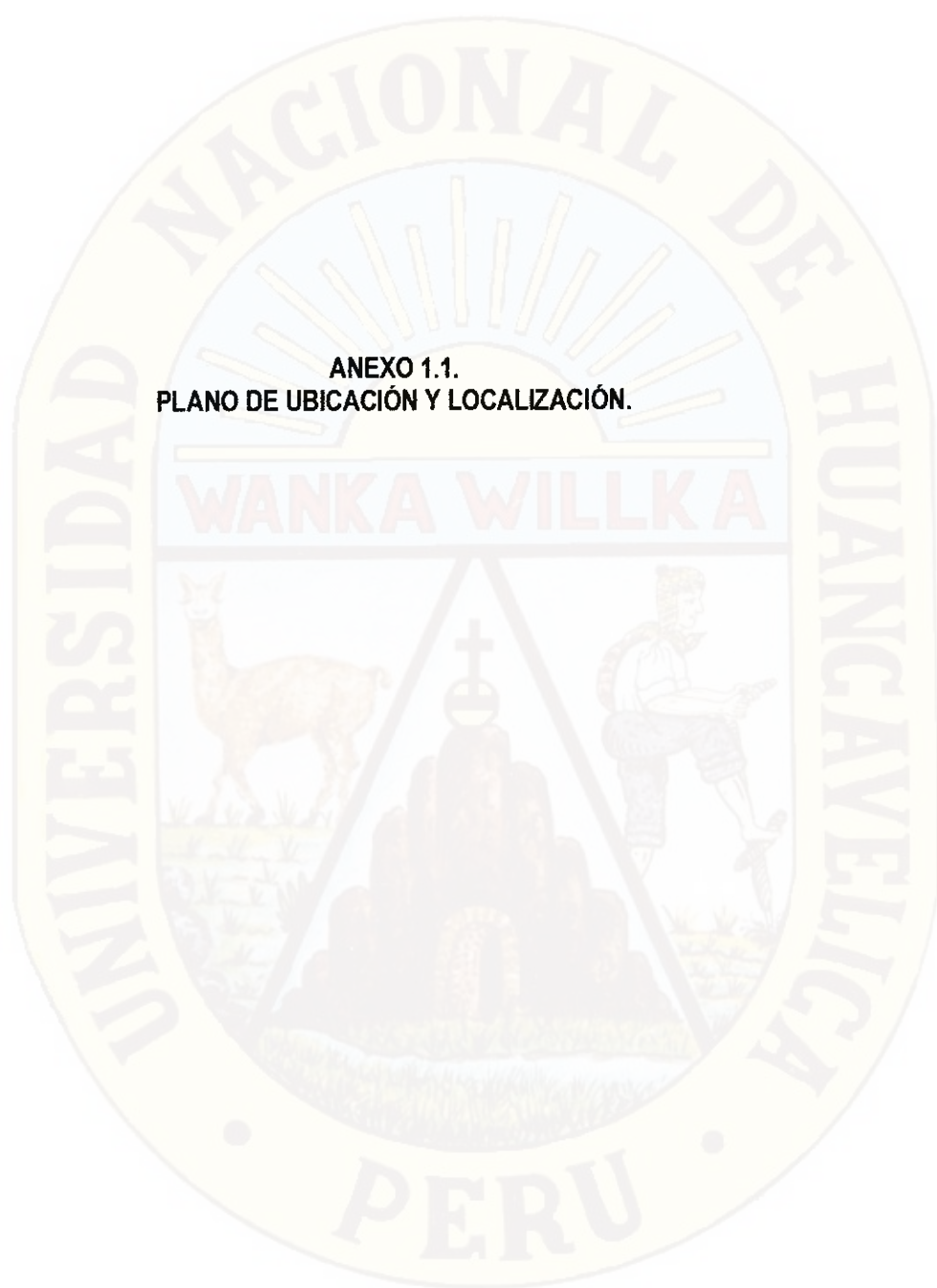
El presupuesto para la presente tesis asciende la suma de 7,900.00 nuevos soles

DESCRIPCION	UND	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	SUB TOTAL
EQUIPO Y MOBILIARIO				
Alquiler de equipo Topográfico	DIA	3	250	750.00
Cámara Fotográfica	UND	1	400	400
Impresiones y copias (blanco y negro)	UND	2500	0.1	250
Impresiones y copias (Color)	UND	2500	0.3	750
Implementos de seguridad	GLB	1	500	500
SUB TOTAL				2650
VIATICOS				
Huancavelica a Huayllapampa distrito de Cuenca	GLB	2	1000	2000
Capacitación y/o Cursos	GLB	2	500	1000
SUB TOTAL				3000
CONTRATACION DE SERVICIOS				
Personal para Trabajos de campo	UND	5	50	250
Imprevistos	GLB	1	500	500
SUB TOTAL				750
ENSAYOS DE LABORATORIO				
Ensayos de laboratorio Mecánica de suelos	UND	3	350	1050
Ensayo DPL	UND	3	120	360
Ensayo de Densidad in situ	UND	3	150	450
SUB TOTAL				1500
TOTAL S/.				7900

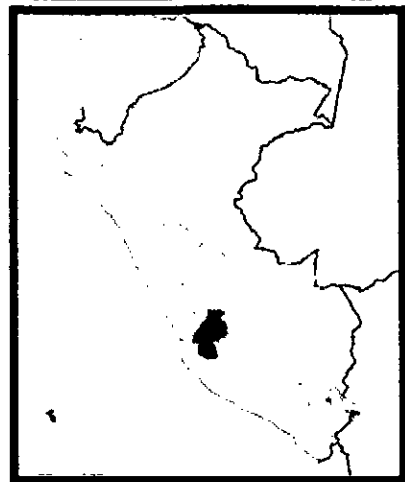
ANEXO 01

RECOLECCION DE DATOS Y/O INFORMACIÓN

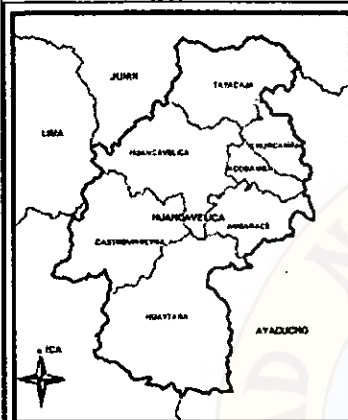
- Anexo 1.1.: Plano de Ubicación y localización.
- Anexo 1.2.: Área de Estudio.
- Anexo 1.3.: Informes de Ensayos de Laboratorio.
- Anexo 1.4.: Plano de Ubicación de Calicatas.
- Anexo 1.5.: Registros Sísmicos.
- Anexo 1.6.: Otros.



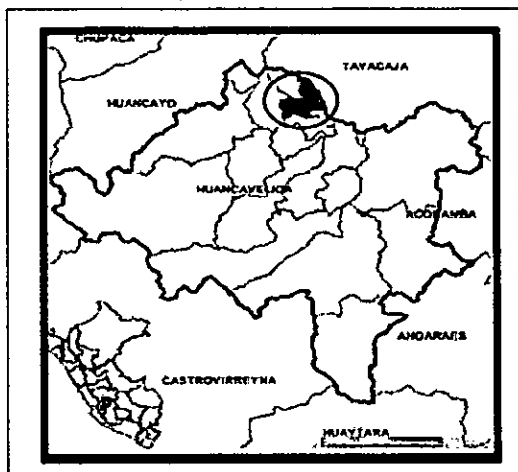
**ANEXO 1.1.
PLANO DE UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN.**



PLANO DE UBICACIÓN
ESCALA 5/1



DEPARTAMENTO DE HUANCAVELICA
ESCALA 5/1



ZONA DE ESTUDIO - DISTRITO DE CUENCA
ESCALA 5/1

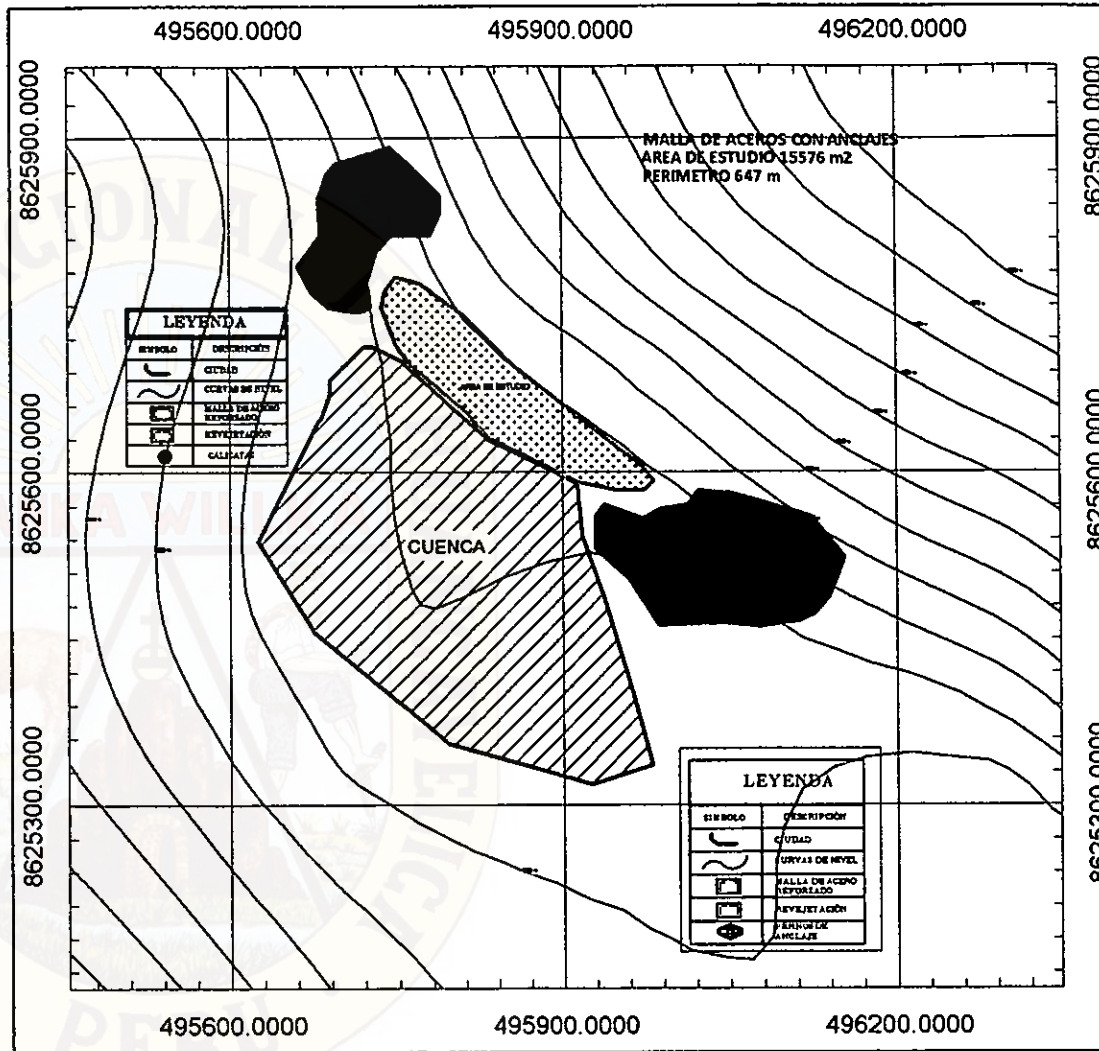


IMAGEN DE LA ZONA DE ESTUDIO

SECTOR DE ESTUDIO
ESCALA 1/5000

UNIVERSINADA NACIONAL DE HUANCAVELICA
FACULTAD DE INGENIERIA MINAS - CIVIL - AMBIENTAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

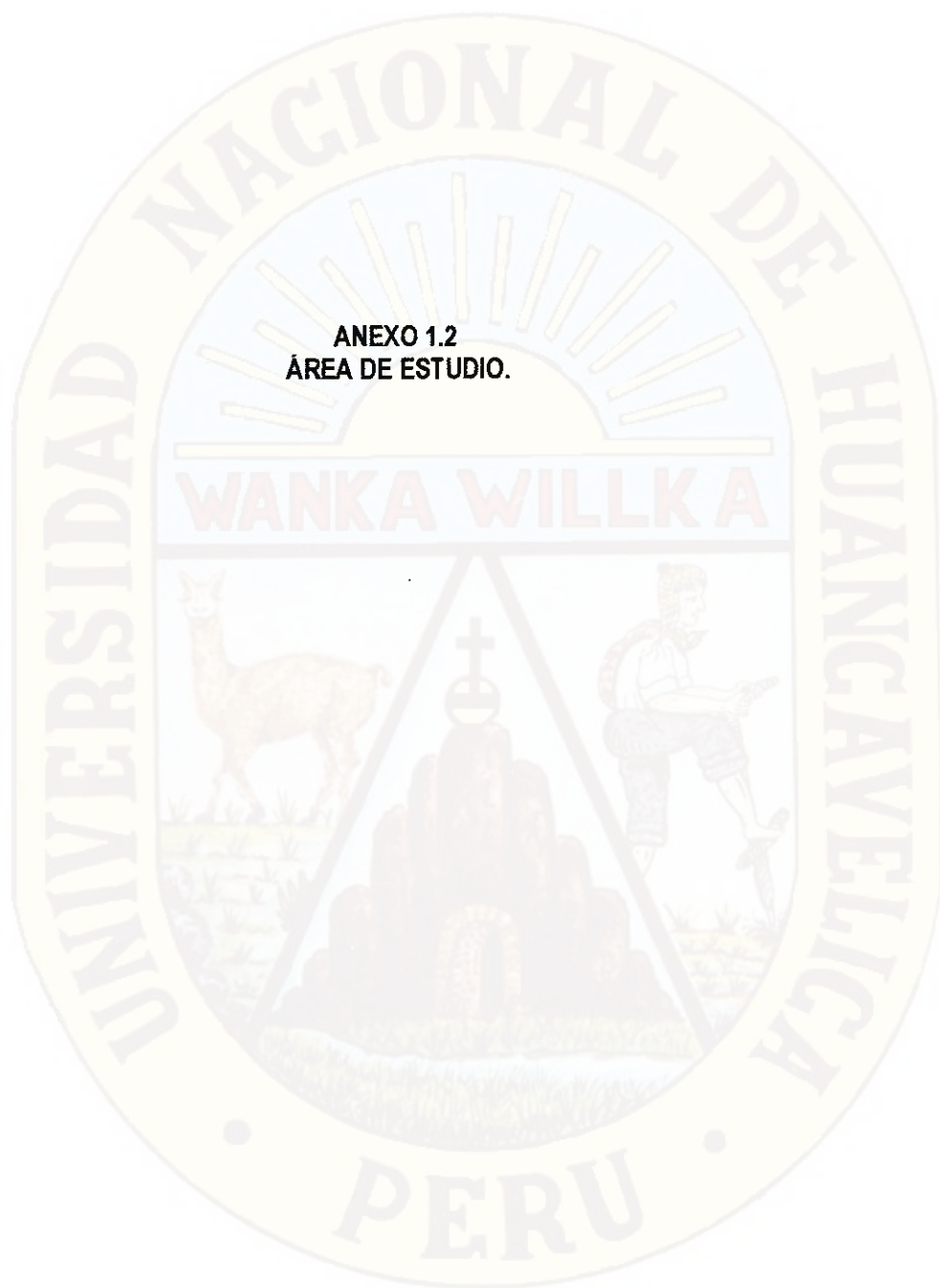
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:
"ANÁLISIS DINÁMICO DE ESTABILIDAD DE TALUDES POR ELEMENTOS FINITOS EN LA ZONA DE HUAYLLAPAMPA DEL DISTRITO DE CUENCA - HUANCAVELICA"

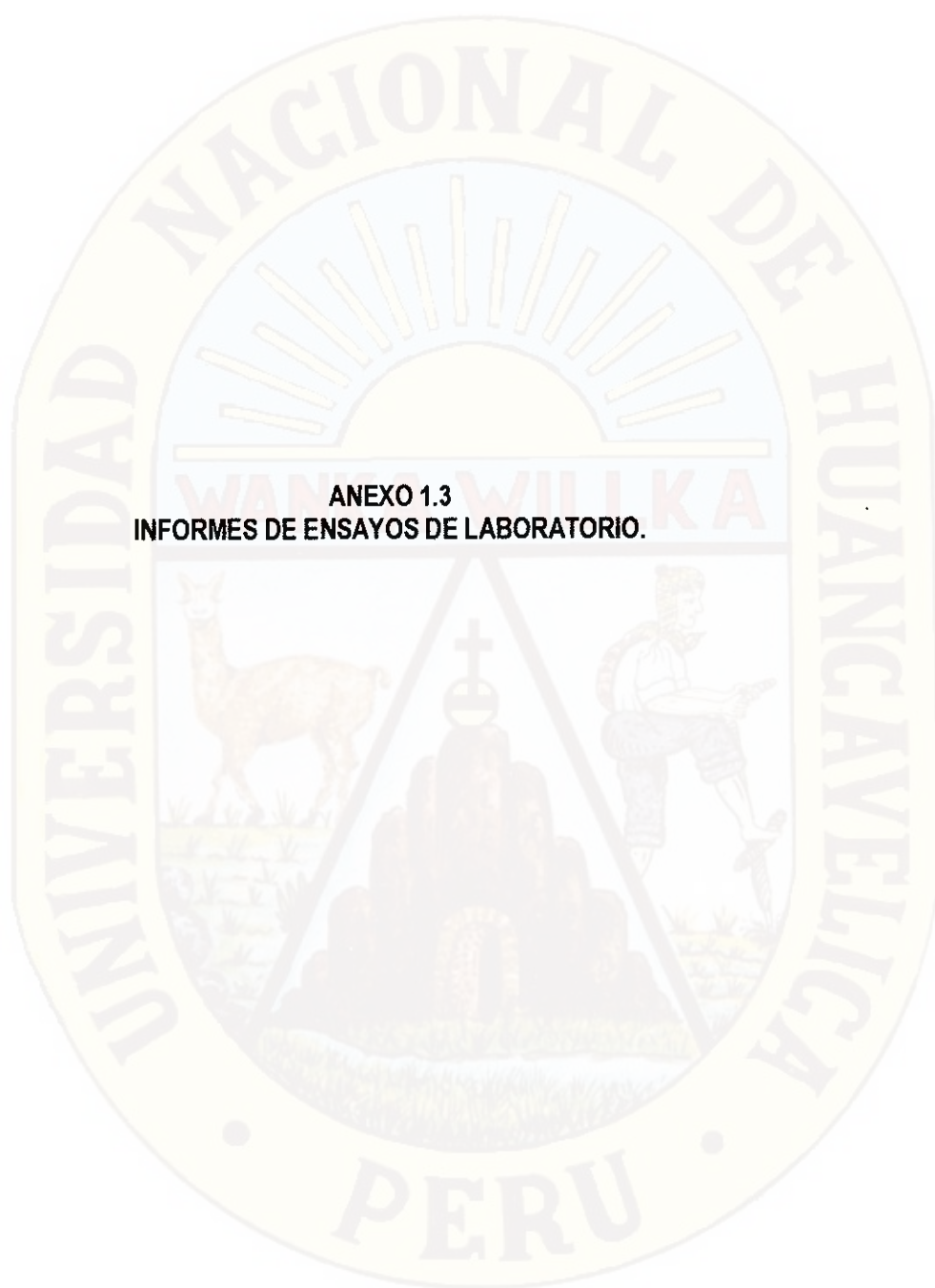
PLANO:
UBICACION - LOCALIZACIÓN

ESCALA:
FECHA: MAYO-2016

CODIGO:
UL : 01

ANEXO 1.2
ÁREA DE ESTUDIO.





ANEXO 1.3
INFORMES DE ENSAYOS DE LABORATORIO.

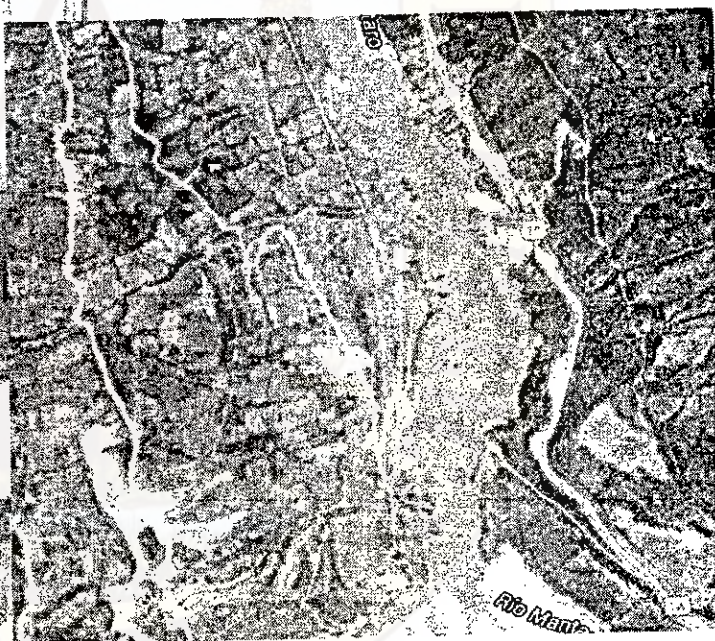
ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS

ASUNTO: "ANALISIS DINAMICO DE ESTABILIDAD DE TALUDES POR ELEMENTOS FINITOS EN LA ZONA DE HUAYLLAPAMPA DEL DISTRITO DE CUENCA DE LA PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE HUANCavelica".

SOLICITADO: TARDEO DE LA CRUZ CESAR AUGUSTO
ZANABRIA PARI EVER

FECHA : MAYO DEL 2016.

Se tiene los resultados de los ensayos realizados de las muestras tomadas del Proyecto, "ANALISIS DINAMICO DE ESTABILIDAD DE TALUDES POR ELEMENTOS FINITOS EN LA ZONA DE HUAYLLAPAMPA DEL DISTRITO DE CUENCA PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE HVCA" y es como detallo:



1. OBJETIVOS.

El presente Estudio de Mecánica de Suelos, con fines de Cimentación tiene por objeto establecer las características geológica y geotécnicas, de proyecto, es decir el estudio de la estratigrafía, la identificación y las propiedades físicas y mecánicas de los suelos de fundación del proyecto mencionado para el diseño de cimentaciones estables.

2. ALCANCES.

Se ha realizado exploraciones de campo y ensayos de laboratorio, con la finalidad de identificar los suelos sobre el cual se proyecta el diseño de cimentaciones para análisis dinámico de estabilidad de taludes proyectado, para luego con los resultados

obtenidos realizar el estudio Geotécnico y el de Mecánica de Suelos con fines de Cimentación para las estructuras requeridas.

Los estudios geotécnicos realizados fueron:

Ensayos de campo y suelos de fundación.

Ensayos de laboratorio.

Descripción y estratigrafía del suelo.

El programa seguido, fue el siguiente:

- Ubicación
- Antecedentes Geológicos.
- Sismicidad.
- Reconocimiento del terreno
- Ejecución de sondajes y calicata
- Toma de muestras inalteradas y disturbadas
- Ejecución de Ensayos de Laboratorio
- Evaluación de los Trabajos de Campo y Laboratorio
- Cálculo de la Capacidad de carga
- Conclusiones y Recomendaciones.



3. UBICACIÓN.

Este proyecto en mención se encuentra en la Región Central del Perú, en la región andina, en el Departamento y Provincia de Huancavelica, Distrito de Cuenca, con una distancia de 87.6 kilómetros aproximadamente.

4. ANTECEDENTES GEOLÓGICOS.

De acuerdo a nuestro mapa geológico del Perú, la zona de influencia del proyecto pertenece a la Era el Cenozoico, del Sistema Neogeno, y de la Serie Plioceno, de formación de rocas plutónicas y de la Unidad Litoestratigrafica de la formación Huando (Nm – hu - A), con mediano grado de disgregación por la acción dinámica

117

de agentes de meteorización, topografía pronunciada, tipo de suelo, composición físico mecánica del suelo de fundación, su composición se encuentra ligado al grupo Caudalosa y Mitu, se encuentra constituida también por suelos glaciofluviales aluviales y coluviales, así como escombros recientes redepositados, en su base se encuentra rocas ígneas plutónicas y con la secuencia mejor expuesta en las quebradas. Estos depósitos aluviales representan las unidades clásticas de más amplia distribución en la zona y se encuentran ya sean rellenando depresiones de origen diverso o conformando terrazas de considerable potencia.

El material que los constituyen presenta una textura muy variable en donde alternan las gravas arenas limosas, mezclas de gravas arenas limos con poca arcillas, así como también areniscas de tufos volcánicos de coloración rojizo amarillo suelos finos con fragmentos de areniscas y tufos volcánicos de colores plomizos, en matriz arenoso limoso con poca arcilla, existen suelos formados por escombros y rocas sueltas superficiales de tiempos indefinidos, como tierra de fundación regular, con capacidad de carga regular.

5. SISMICIDAD.

El suelo materia del presente estudio se halla en la zona N° 2 según el mapa de Zonificación Sísmica del Perú, considerado como de mediana sismicidad, de acuerdo a las Normas de Diseño Sísmico Resistente del Reglamento Nacional de Construcción.

Según la Norma Peruana E.030-97 de Diseño Sismorresistente, el territorio nacional se considera dividido en tres zonas, según se muestra en la figura.

La zonificación propuesta se basa en la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de éstos con la distancia epicentral, así como en información geotectónica.

A cada zona se asigna un factor "Z" según se indica en la tabla. Este factor se interpreta como la aceleración máxima del terreno con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años. El valor del factor "Z" está expresado en gals (g).

ZONA	FACTOR DE ZONA (Z)
3	0.40
2	0.30
1	0.15

6. ENSAYOS DE CAMPO Y LABORATORIO.

6.1. CALICATAS SUELO DE FUNDACION

Se realizó dos calicatas a cielo abierto, con una altura de excavación de 1.50 metros, de perforación manual, la misma que ha servido para desarrollar el perfil estratigráfico.

La metodología a seguir para la caracterización del suelo de fundación comprenderá básicamente una investigación de campo a lo largo del análisis dinámico de estabilidad de taludes proyectadas, mediante la ejecución de pozos exploratorios (calicatas), con obtención de muestras representativas en número y cantidades suficientes para su posterior análisis en ensayos en laboratorio y, finalmente, con los datos obtenidos en ambas fases se pasará a la fase de gabinete, para consignar en forma gráfica a los resultados obtenidos.

SUELO DE FUNDACION PARA CIMENTACIONES

Hasta la profundidad de 1.50, el suelo de fundación está formado por:

CALICATA N° 01 MUESTRA N° 02

Suelo formado de arenas arcillosas mezclas mal graduadas de arena y arcilla de color rojizo amarillento, como terreno de fundación de fundación regular de Capacidad de Carga Regular a malo 0.98 kg/cm², con un Angulo de Fricción de 21.37° y Cohesión de 0.19 kg/cm², clasificación SUCS SC, AASHTO A-2-4(0), con Peso Especifico 2.03 gr/cm², Limite Liquido 36.39 %, Índice de Plasticidad de 9.31 %, con una M.D.S. de 1.80 gr/cm³, O.C.H. de 8.00 %, suelos regulares como terreno de fundación, con capacidad de carga regular a malo.

CALICATA N° 01 MUESTRA N° 02

Suelo formado de arenas arcillosas mezclas mal graduadas de arena y arcilla de color rojizo amarillento, como terreno de fundación de fundación regular de Capacidad de Carga Regular 1.36 kg/cm², con un Angulo de Fricción de 23.68° y Cohesión de 0.28 kg/cm², clasificación SUCS GP-GC, AASHTO A1-a(0), con Peso Específico 2.11 gr/cm², Limite Liquido 40.42 %, Índice de Plasticidad de 11.21 %, con una M.D.S. de 1.85 gr/cm³, O.C.H. de 7.40 %, suelos regulares a bueno, como terreno de fundación, con capacidad de carga regular.

7. ENSAYOS DE LABORATORIO.

Con la finalidad de verificar los resultados de laboratorio se ha optado a realizar excavaciones a cielo abierto, para poder determinar el perfil estratigráfico, si hay o no presencia de napa freática, y tomar muestras representativas, que fueron analizadas por el Laboratorio de Mecánica de Suelos, cuyos resultados se encuentran adjunto al presente informe.

7.1. LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS.

Los Técnicos de dicho laboratorio realizaron los ensayos necesarios para determinar sus propiedades físicas mecánicas en la única muestra o estrato encontrado, ya que esa muestra es la que va a soportar las cargas aplicadas al nivel de desplante de sus zapatas, a lo largo del análisis dinámico de estabilidad de taludes proyectadas.

ENSAYO ESTÁNDAR

- Análisis Granulométrico por tamizado ASTM C - 136.
- Ensayo de Límite de consistencia. ASTM. D - 4318
 - Limite Liquido
 - Limite Plástico
 - Índice de Plasticidad
- Clasificación SUCS ASTM D - 2487
- Clasificación AASHTO ASTM D - 3282 AASHTO M-145
- Contenido de Humedad Natural ASTM D - 2216

ENSAYO ESPECIAL

- Próctor Modificado ASTM D - 1557
- Corte Directo ASTM D - 3080

ENSAYOS DE CORTE DIRECTO

Se realizó el ensayo siguiendo los lineamientos generales especificados en la Norma D - 3080.

- a. Este método de prueba es desarrollado para la determinación a la resistencia al corte de un suelo. Esta prueba es realizada mediante la deformación de un espécimen en un rango de deformación controlada se realizó 3 pruebas, cada una bajo una diferente carga normal para determinar el efecto sobre la resistencia y el desplazamiento y las propiedades resistentes.
- b. Los esfuerzos de corte y el desplazamiento no se distribuyen uniformemente dentro de la muestra y no se puede definir una altura apropiada para el cálculo de la deformación.
- c. La determinación de las envolventes de falla y el desarrollo de criterios para interpretar y evaluar los resultados del ensayo se dejan al criterio del ingeniero que solicita el ensayo.
- d. Los resultados de ensayo pueden ser afectados por la presencia de partículas de suelo o fragmentos de roca o ambos.
- e. Las condiciones de prueba incluyen el esfuerzo normal y la humedad ambiental son seleccionadas las cuales representan las condiciones del suelo que han sido investigadas.

ANALISIS DE CIMENTACION.

CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE.

Para efectos de determinar la capacidad de carga en suelos de fundación de matriz arenosa limosos arcillosa, se han recurrido al ensayo realizado en el Laboratorio de Mecánica de Suelos; los cuales se adjunta el Informe Técnico.

En el cálculo de la capacidad de carga admisible por Terzaghi se debe considerar como factor de seguridad de 3.00, la falla por corte será preferentemente del tipo "local".

Parámetros de Resistencia.-

Teniendo las calicatas la N° 01 y 02, en su mayoría formado por arenas limosas arcillosas, de colores marrón-amarillo, y tipos de suelos son homogéneos, se realizaron sus ensayos de mecánica de suelos y clasificación, pesos específicos, proctor modificado, límites de consistencias y el de corte directo para determinar el ángulo de fricción y cohesión del suelo, como suelos de fundación regulares, los suelos que lo conforman a una profundidad de 1.50 metros de profundidad son suelos arenosos limosos arcillosos.

Altura de excavación	H	=	1.50 m. del terreno natural
Dimensión lateral	B	=	1.00 m.
	e	=	2.718
	n	=	3.1416
	c	=	Cohesión kg/cm ²
		=	Peso Específico del Suelo kg/cm ³
	FS	=	Factor de Seguridad 3.00

Factores de carga.

$$N_c = C \cdot \left[e^{n \cdot \tan \phi} \cdot \tan^2 (45^\circ + \phi/2) - 1 \right]$$

$$N_q = e^{n \cdot \tan \phi} \cdot \tan^2 (45^\circ + \phi/2)$$

$$N_\gamma = 1.5 [N_q - 1] \tan \phi$$

Vista las características del suelo de fundación arenosa limosa arcillosa, mezcla de arenas limos y arcillas, y con el nivel de desplante posible es de 1.50 mt., según Terzaghi para zapatas cuadradas y cimientos superficiales, se tiene:

$$Q_{ult} = 1.3 \cdot c \cdot N_c + \gamma \cdot H \cdot N_q + 0.4 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma$$

PARAMETROS DE RESISTENCIA	C-1, M-2	C-2, M-3
Clasificación SUCS	SC	GP-GC
AASHTO	A-2-4(0)	A1-a(0)
Cohesión	0.19	0.28
Angulo fricción	21°37'	23°68'
Peso Especifico	2.03	2.11
Nc	16.20	18.90
Nq	7.34	9.29
NY	3.72	5.45
Gr Tn/m ²	29.37	40.88
Gr kg/cm ²	3.72	4.09
Factor Seguridad	3.00	3.00
Q Ultimo kg/cm ²	0.19	1.36
Df	1.50	1.50

AGRESIVIDAD DEL SUELO A LA CIMENTACIÓN.

Se ha realizado el ensayo visual para determinar el contenido de sulfatos cloruros, sales solubles, teniendo como suelo conglomerado semi compacto de material de rio arena grava limosa no plástica se dice que no contiene Cloruros (Cl), ni Sulfatos (SO₄).

De acuerdo al manual de concreto americano y las normas técnicas de edificaciones peruanas, el grado de agresión se encontraría en el rango de leve.

Se recomienda utilizar cemento Pórtland Tipo I.

TIPO DE CIMENTACION RECOMENDADO.

El tipo de cimentación recomendado es del tipo superficial, del análisis dinámico de estabilidad de taludes.

Por la capacidad portante del suelo de cimentación, se recomienda apoyar la estructura sobre la zapata o dado de cimentación, capaces de soportar sismos de hasta 7 grados de la escala de Mercalli, la profundidad de cimentación recomendado será como mínimo 1.5.00 mts, como mínimo debiéndose rediseñar y considerar el proyectista la nueva altura de cimentación y que definirá las características geométricas del suelo de fundación, dimensiones y profundidad de la cimentación. Pero teniendo en consideración sobre la presencia de suelo de fundación arena limosa con arcilla de color marrón amarillento.

ZONIFICACIÓN.

El territorio nacional se considera dividido en tres zonas, como se muestra en el plano adjunto, la zonificación propuesta se basa en la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de éstos con la distancia epicentral, así como en información neo tectónica. A cada zona se asigna un factor Z, este factor se interpreta como la aceleración máxima del terreno con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años.



SUELOS:

CLASIFICACIÓN, RECONOCIMIENTO Y SUS CARACTERÍSTICAS:

Desde el punto de vista Geológico, los suelos que se han encontrado son de tipo zonal (suelo genético), habiéndose encontrado parcialmente suelos Interzonales.

Se ubicaron diferentes secuencias de horizontes (tipos de perfil) de suelo, ubicando:

- **Horizontes A (Orgánico):** Que tiende a tener subdivisiones, generalmente de estructura granular, a suelos finos de color marrón negruzco, con presencia de piedras, esto en algunos tramos y escasos.

- **Horizonte B (Mineral):** Estructura subangular o angular, debido a la acumulación de arcillas iluviales, arcillas que por efecto de la gravedad se va lavando de arriba hacia abajo, de color amarillento, y con piedras de formación amarillento con piedras con caras de fracturas, con una capacidad de carga regular, con piedras y rocas meteorizadas de color rojizo y amarillento a marrón.
- **Horizonte C:** Roca Parcialmente descompuesta a descompuesta por la geodinámica por los agentes de meteorización de la lluvia, aire, viento, etc, formando rocas sueltas en algunos tramos y rocas fisuradas a macizos rocosos de color plomo, blanco y verdoso, esto en algunos tramos.
- **Horizonte R (Roca Madre):** Secuencia lógica de formación de suelos, suelo zonal típico, transportado por pequeños deslizamientos.

La acumulación producto del transporte del material del horizonte A hacia el horizonte B se llama *iluvación*, y la pérdida de material se llama *eluvación*. Ambos fenómenos se deben al movimiento del agua que se da en el suelo, movimiento vertical por efecto de la gravedad, la lluvia, el viento, etc, que son agentes geodinámicas.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- a) Del análisis comparativo de los resultados de identificación y ensayos de laboratorio se concluye que los resultados en su mayoría son suelos semi estables de Capacidad Portante de 1.36 kg/cm² es necesario el mejoramiento del suelo con material de cantera o con solado para mejorar su capacidad de carga.
- b) Los resultados obtenidos por el Laboratorio serán empleados para efectos de cálculo y diseño de pavimentos, por ser resultados más conservadores.
- c) De acuerdo a los resultados de laboratorio, se deduce que el terreno donde se proyecta a lo largo del análisis dinámico de estabilidad de taludes proyectadas, son terrenos con una capacidad de carga malo a regular de 98 y 1.36 kg/cm², por consiguiente son terreno malo a regular para cimientos.



ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

PROYECTO

"ANALISIS DINAMICO DE ESTABILIDAD DE TALUDES POR ELEMENTOS FINITOS EN LA ZONA DE HUAYLLAPAMPA DEL DISTRITO DE CUENCA PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE HUANCAMELICA".

UBICACION

Tierra de Fundacion

FECHA

09/05/2016

SOLICITADO

TARDEO DE LA CRUZ CESAR Y ZANABRIA PARI EVER

CALICATA

C-1, M-2

LOCALIDAD

HUAYLLAPAMPA DISTRITO DE CUENCA

OPERADOR

R.P.C.

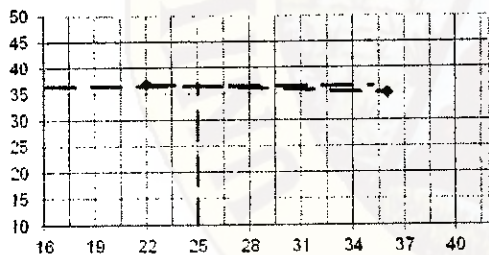
NORMAS

: ASTM D422 - D2218 - D854 - D4318 - D427 - D2437 / AASHTO T87

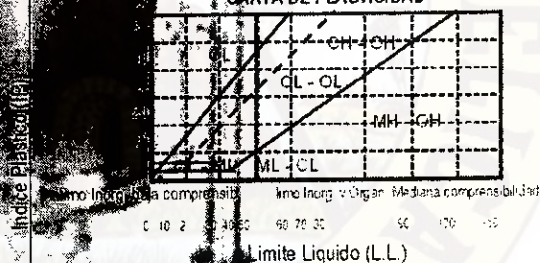
Tipo de Exploración	0
Nº de Exploración	C-1
Nº de Muestras	M-2
Profundidad del Nivel Freático (m)	-
Profundidad del Estrato (m)	0
Peso Unitario Seco Suelto	1417
Peso Esp. Relativo de Sólidos (Ss)	-
Peso Específico Natural (γ)	2.03
Humedad Natural (w) %	6.65
Límite Líquido (LL)	36.39
Límite Plástico (LP)	27.08
Índice Plasticidad (IP)	9.31
Porcentaje de Absorción	8.62
Peso Unitario Seco Compacto	1567
CLASIFICACIÓN SUCS	SC
CLASIFICACIÓN AASHTO	A-24(0)
Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla	
mal graduadas.	
Tierra de fundación Regular.	

TAMANO	TAMICES	PESO	% QUE	ESPECIF.
MALLA	ASTM	RETEN.	PASA	
50.000	2"	215.00	93.42	
37.500	1 1/2"	0.00	93.42	
25.000	1"	0.00	93.42	
19.000	3/4"	82.00	90.91	
12.500	1/2"	126.00	87.05	
9.500	3/8"	146.00	82.58	
4.750	Nº 4	439.00	69.15	
2.000	Nº 10	293.67	60.16	
0.850	Nº 20	623.48	41.07	
0.425	Nº 40	343.37	30.56	
0.250	Nº 60	117.47	26.97	
0.150	Nº 100	58.73	25.17	
0.075	Nº 200	36.14	24.06	
0.000	< 200	786.13	0.00	
Peso Inic.	3267	2259.00		
D10 (mm)	0.36	Cu	6.32	
D30 (mm)	1.59	Cc	3.03	
D60 (mm)	2.30	I.G.		

DIAGRAMA DE FLUIDEZ

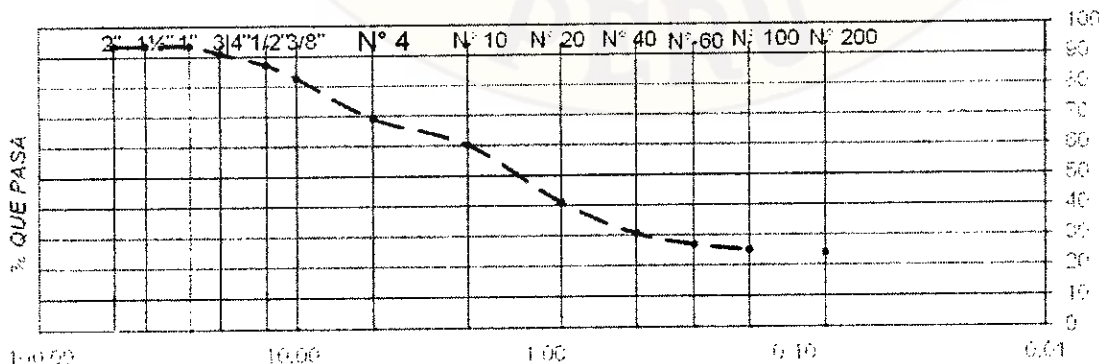


CARTA DE PLASTICIDAD



REPRESENTACION GRAFICA DEL ANALISIS

Tamaño de las mallas U.S. Standard



C. P. C.



GOBIERNO REGIONAL DE HUANCAVELICA
DIRECCIÓN REGIONAL DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales



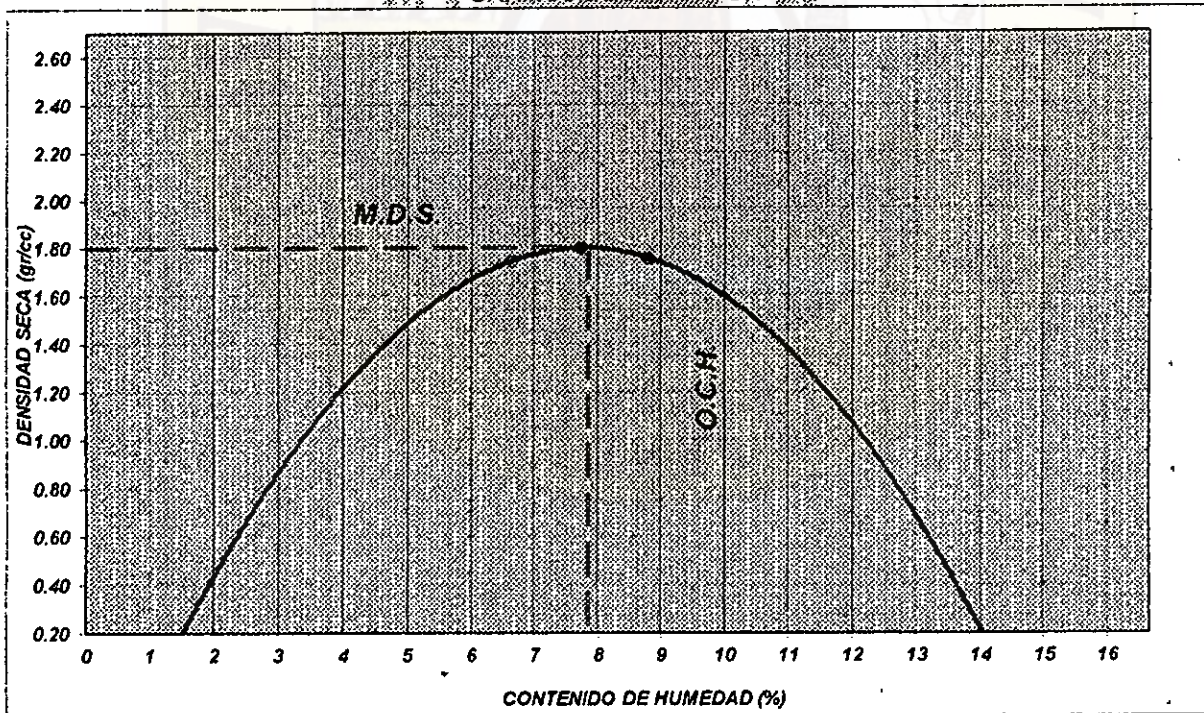
PROCTOR MODIFICADO

PROYECTO :	"ANÁLISIS DINÁMICO DE ESTABILIDAD DE TALUDES POR ELEMENTOS FINITOS EN LA ZONA DE HUAYLLAPAMPA DEL DISTRITO DE CUENCA PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE HUANCAVELICA".	FECHA :	09/05/2016
UBICADO :	TIERRA DE FUNDACION	EFECTUADO:	R.P.C
SOLICITADO :	TARDEO DE LA CRUZ CÉSAR A. Y ZANABRIA PARI EVER	CALICATA	C-1
LOCALIDAD:	HUAYLLAPAMPA DISTRITO DE CUENCA	MUESTRA :	M-2
LADO:		PESO ESP.	2.03 gr/cm3

METODO DE COMPACTACION : PROCTOR MODIFICADO AASHTO T-180 METODO - D

VOLUMEN DEL MOLDE (cm3)	2087	PESO DEL MOLDE (gr) :	6532	MOLDE Nro.	
NUMERO DE ENSAYOS	1	2	3		
PESO SUELO + MOLDE	10437	10577	10523		
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO	3885	4045	3991		
PESO VOLUMETRICO HUMEDO	1.862	1.938	1.912		
CONTENIDO DE HUMEDAD					
RECIPIENTE Nro.	23	22	22		
PESO SUELO HUMEDO + TARA	176.00	185.00	180.00		
PESO SUELOS SECO + TARA	167.00	174.00	168.00		
PESO DE LA TARA	39.95	34.22	34.22		
PESO DE AGUA	9.00	11.00	12.00		
PESO DE SUELO SECO	133.05	139.78	133.78		
CONTENIDO DE AGUA	6.76	7.87	8.97		
% PROMEDIO DE AGUA	6.76	7.87	8.97		
PESO VOLUMETRICO SECO	1.74	1.80	1.75		
DENSIDAD MAXIMA SECA	1.80 gr/cc	HUMEDAD OPTIMA	8.00 %		

GRAFICO DEL PROCTOR



GOBIERNO REGIONAL DE HUANCAVELICA
DIRECCIÓN REGIONAL DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES

Tec. Ricardo Paytan Capani

[Signature]



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

ASTM D3080

PROYECTO :

"ANALISIS DINAMICO DE ESTABILIDAD DE TALUDES POR ELEMENTOS FINITOS EN LA ZONA DE HUAYLLAPAMPA DEL DISTRITO DE CUENCA PROVINCIA DEPARTAMENTO DE HUANCAMELICA".

SOLICITANTE :

TARDEO DE LA CRUZ CESAR A. ZANABRIA PARI EVER

UBICACIÓN :

TIERRA DE FUNDACION

FECHA :

MAYO DEL 2016

Sondaje : C-1

Profundidad : 1.50 m.

Velocidad :

0.5 mm/min

Muestra : E-2

Estado : Remoldeado

Clasificación SUCS:

SC

P.Unit 1417 K/m3

P.Especif: 2.03 Tn/m3

ARENAS ARCILLOSAS MEZCLAS MAL GRADUADAS

ESPECIMEN 1

ESPECIMEN 2

ESPECIMEN 3

Altura: 21.98 mm
Lado : 49.43 mm
D. Seca: 1.80 gr/cm³
Humedad: 8.00 %
Esf. Normal : 0.63 kg/cm²
Esf. Corte: 0.45 kg/cm²

Altura: 18.00 mm
Lado : 63.50 mm
D. Seca: 1.80 gr/cm³
Humedad: 8.00 %
Esf. Normal : 1.26 kg/cm²
Esf. Corte: 0.65 kg/cm²

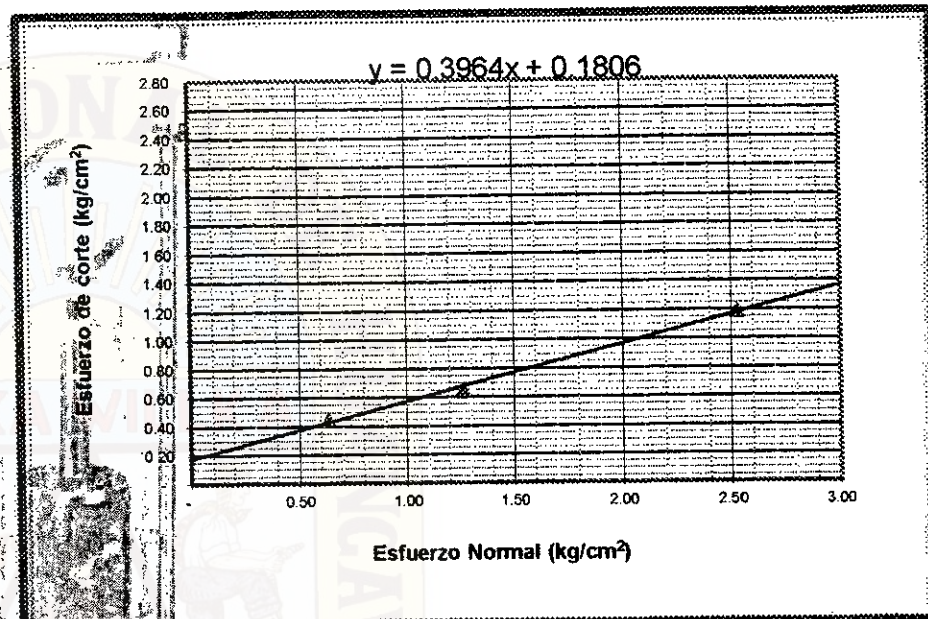
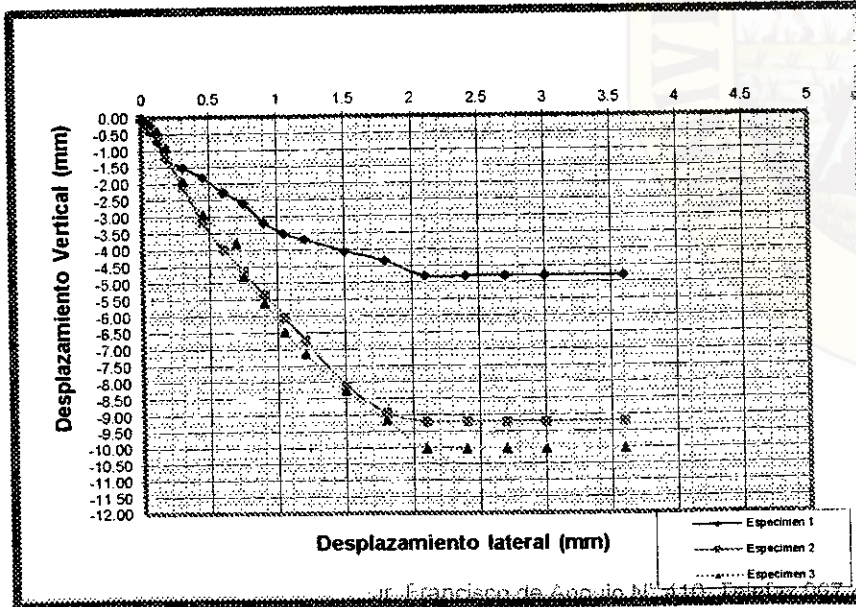
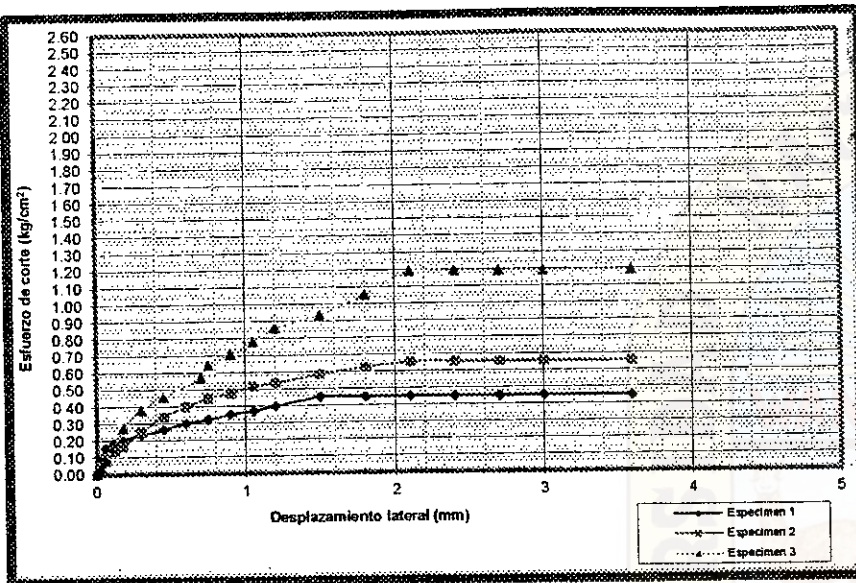
Altura: 18.00 mm
Lado : 63.50 mm
D. Seca: 1.80 gr/cm³
Humedad: 8.00 %
Esf. Normal : 2.53 kg/cm²
Esf. Corte: 1.19 kg/cm²

Desp. lateral (mm)	Esfuerzo de Corte (kg/cm ²)	Esfuerzo Normalizado (τ/σ)
0.00	0.00	0.00
0.03	0.09	0.14
0.06	0.16	0.25
0.12	0.19	0.29
0.18	0.21	0.32
0.30	0.23	0.37
0.45	0.26	0.42
0.60	0.30	0.48
0.75	0.32	0.51
0.90	0.35	0.56
1.05	0.37	0.59
1.20	0.40	0.63
1.50	0.45	0.71
1.80	0.45	0.71
2.10	0.45	0.71
2.40	0.45	0.71
2.70	0.45	0.71
3.00	0.45	0.71

Desp. lateral (mm)	Esfuerzo de Corte (kg/cm ²)	Esfuerzo Normalizado (τ/σ)
0.00	0.00	0.00
0.03	0.06	0.05
0.06	0.10	0.08
0.12	0.14	0.11
0.18	0.17	0.13
0.30	0.25	0.20
0.45	0.34	0.27
0.60	0.40	0.32
0.75	0.45	0.36
0.90	0.48	0.38
1.05	0.52	0.41
1.20	0.52	0.41
1.50	0.59	0.46
1.80	0.62	0.49
2.10	0.65	0.52
2.40	0.65	0.52
2.70	0.65	0.52
3.00	0.65	0.52

Desp. lateral (mm)	Esfuerzo de Corte (kg/cm ²)	Esfuerzo Normalizado (τ/σ)
0.00	0.00	0.00
0.03	0.04	0.02
0.06	0.08	0.03
0.12	0.17	0.07
0.18	0.27	0.11
0.30	0.38	0.15
0.45	0.46	0.18
0.70	0.57	0.22
0.75	0.64	0.26
0.90	0.70	0.28
1.05	0.78	0.31
1.20	0.86	0.34
1.50	0.94	0.37
1.80	1.05	0.42
2.10	1.19	0.47
2.40	1.19	0.47
2.70	1.19	0.47
3.00	1.19	0.47

C. J. P.



ENSAYO DE CORTE DIRECTO ASTM D3080

PROYECTO:

"ANÁLISIS DINÁMICO DE ESTABILIDAD DE TALUDES POR ELEMENTOS FINITOS EN LA ZONA DE HUAYLLAPAMPA DEL DISTRITO DE CUENCA PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE HUANCAVELICA"

SOLICITANTE:

TARDEO DE LA CRUZ CESAR A. Y ZANABRIA PARI EVER

UBICACIÓN:

TIERRA DE FUNDACION

FECHA:

MAYO DEL 2016

LADO:

Sondaje: C-1

Profundidad: 1.5 metros.

Muestra: E-2

Estado: remoldeado

Resultados:

Cohesión (c): 0.19

kg/cm2

Ang. Fricción (φ): 21.37

Enrique
Ing. Luis Escob
INGENIERO
CIP. N° 14

GOBIERNO REGIONAL DE
HUAYLLAPAMPA
DIRECCIÓN REGIONAL DE
CONSTRUCCIÓN
P. P. P.
Ing. Ricardo Pay
(LABORATORIO DE)



ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

PROYECTO

"ANALISIS DINAMICO DE ESTABILIDAD DE TALUDES POR ELEMENTOS FINITOS EN LA ZONA DE HUAYLLAPAMPA DEL DISTRITO DE CUENCA PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE HUANCAMELICA"

UBICACION

Tierra de fundacion

FECHA

09/05/2016

SOLICITADO

TARDEO DE LA CRUZ CESAR Y ZANABRIA PARI EVER

CALICATA

C-2, M3

LOCALIDAD

HUAYLLAPAMPA DISTRITO DE CUENCA

OPERADOR

R.P.C.

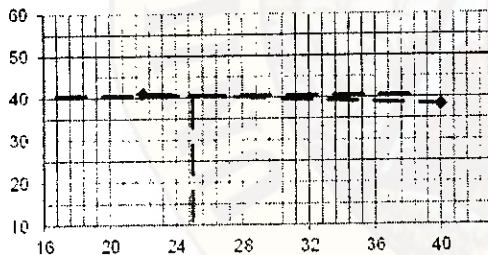
NORMAS

ASTM D422 - D2218 - D854 - D4318 - D427 - D2437 / AASHTO T87

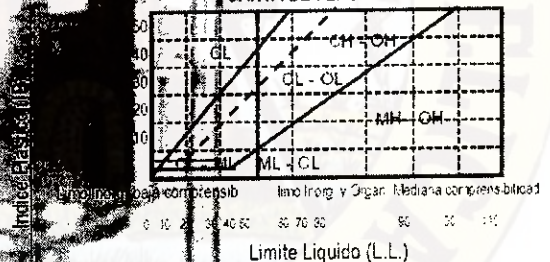
Tipo de Exploración	0
Nº de Exploración	C-2
Nº de Muestras	M-3
Profundidad del Nivel Freático (m)	
Profundidad del Estrato (m)	0
Peso Unitario Seco Suelto	1397
Peso Esp. Relativo de Sólidos (Ss)	
Peso Específico Natural (γ)	0
Humedad Natural (w) %	2.11
Límite Líquido (LL)	40.42
Límite Plástico (LP)	29.21
Índice Plástico (IP)	11.21
Porcentaje de Absorción	12.64
Peso Unitario Seco Compacto	1505
CLASIFICACIÓN SUCS	GP-GC
CLASIFICACIÓN AASHTO	A1-a(0)
Gravas mal graduadas, mezclas de arena y gravas con pocos f	
Gravas arcillosas, mezclas mal graduadas de gravas, arenas y	
T. de fundación de regular a malo	

TAMANO	TAMICES	PESO	% QUE PASA	ESPECIF.
50.000	2"	0.00	100.00	
37.500	1 1/2"	342.00	92.82	
25.000	1"	685.00	78.43	
19.000	3/4"	478.00	68.40	
12.500	1/2"	875.00	50.02	
9.500	3/8"	466.00	40.24	
4.750	Nº 4	738.00	24.74	
2.000	Nº 10	160.21	21.37	
0.850	Nº 20	402.88	12.91	
0.425	Nº 40	204.97	8.61	
0.250	Nº 60	65.97	7.22	
0.150	Nº 100	30.63	6.58	
0.075	Nº 200	14.14	6.28	
0.000	< 200	299.21	0.00	
Peso Inic.	4762	1178.00		
D ₁₀ (mm)	1.73	Cu	1.85	
D ₃₀ (mm)	3.03	Cc	1.67	
D ₆₀ (mm)	3.20	I.G.		

DIAGRAMA DE FLUIDEZ

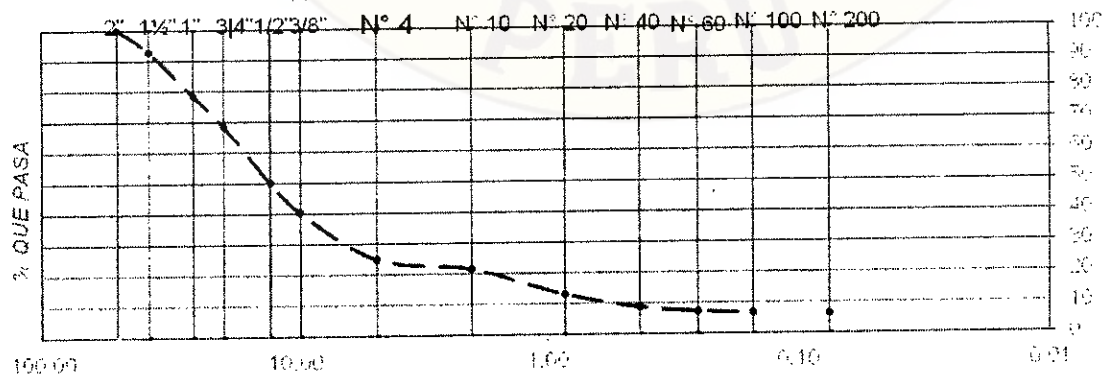


CARTA DE PLASTICIDAD



REPRESENTACION GRAFICA DEL ANALISIS

Tamaño de las mallas U.S. Standard



[Handwritten signature]



GOBIERNO REGIONAL DE HUANCVELICA
DIRECCIÓN REGIONAL DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales



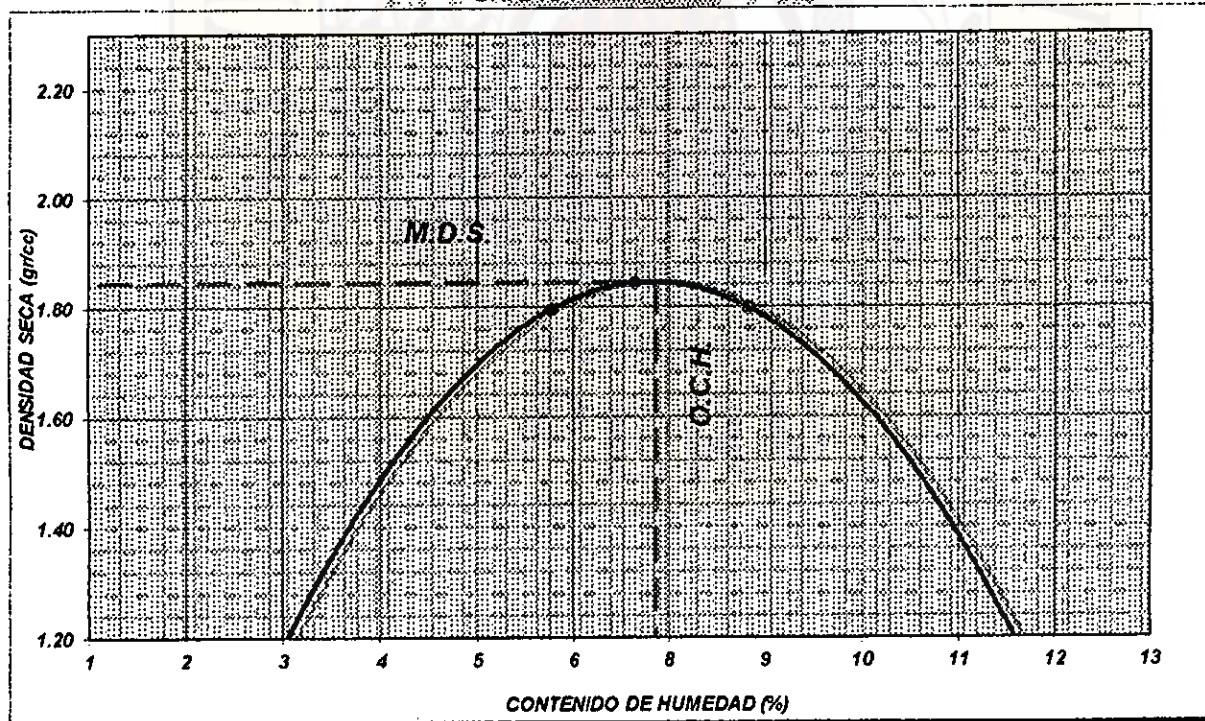
PROCTOR MODIFICADO

PROYECTO :	"ANÁLISIS DINÁMICO DE ESTABILIDAD DE TALUDES POR ELEMENTOS FINITOS EN LA ZONA DE HUAYLLAPAMPA DEL DISTRITO DE CUENCA PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE HUANCVELICA".	FECHA :	09/05/2016
UBICADO :	DISTRITO, CUENCA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO HVCA	EFECTUADO:	R.P.C.
SOLICITADO :	TARDEO DE LA CRUZ CESAR A Y ZANABRIA PARI EVER	CALICATA :	C-2
LOCALIDAD:	HUAYLLAPAMPA DISTRITO DE CUENCA	MUESTRA :	M-3
LADO:		PESO ESP.	2.11gr/cm3

METODO DE COMPACTACION : PROCTOR MODIFICADO AASHTO T-180 METODO - D

VOLUMEN DEL MOLDE (cm3)	2087	PESO DEL MOLDE (gr) :	6532	MOLDE Nro.	
NUMERO DE ENSAYOS	1	2	3		
PESO SUELO + MOLDE	10512	10654	10601		
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO	3980	4122	4069		
PESO VOLUMETRICO HUMEDO	1.907	1.975	1.950		
CONTENIDO DE HUMEDAD					
RECIPIENTE Nro.	1	26	28		
PESO SUELO HUMEDO + TARA	171.00	186.00	175.00		
PESO SUELOS SECO + TARA	163.60	176.00	164.00		
PESO DE LA TARA	33.93	35.93	33.69		
PESO DE AGUA	8.00	10.00	11.00		
PESO DE SUELO SECO	129.67	140.07	130.31		
CONTENIDO DE AGUA	6.20	7.14	8.44		
% PROMEDIO DE AGUA	6.20	7.14	8.44		
PESO VOLUMETRICO SECO	1.80	1.84	1.80		
DENSIDAD MAXIMA SECA	1.85 gr/cc.	HUMEDAD OPTIMA	7.40 %		

GRAFICO DEL PROCTOR



GOBIERNO REGIONAL DE HUANCVELICA
DIRECCIÓN REGIONAL DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales

Jose Luis Escobar Riveros
INGENIERO CIVIL



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

ASTM D3080

"ANALISIS DINAMICO DEESTABILIDAD DE TALUDES POR ELEMENTOS FINITOS EN LA ZONA DE HUAYLLAPAMPA DEL DISTRITO DE CUENCA PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE HUANCAMELICA".

PROYECTO :

SOLICITANTE :

UBICACION :

FECHA :

TARDEO DE LA CRUZ CESAR A. Y ZANABRIA PARI EVER
TIERRA DE FUNDACION
MAYO DEL 2016

Sondaje : C-2

Muestra : E-3

P.Unit 1397 K/m3

Profundidad : 1.50 m.

Estado : Remoldeado

P.Escif: 2.11 Tn/m3

Velocidad :

0.5 mm/min

Clasificación SUCS:

GP-GC

GRAVAS MAL GRADUADAS, GRAVAS ARCILLOSAS

ESPECIMEN 1

Altura: 21.98 mm
Lado : 49.43 mm
D. Seca: 1.85 gr/cm³
Humedad: 7.40 %
Esf. Normal : 1.04 kg/cm²
Esf. Corte: 0.74 kg/cm²

ESPECIMEN 2

Altura: 21.98 mm
Lado : 49.43 mm
D. Seca: 1.85 gr/cm³
Humedad: 7.40 %
Esf. Normal: 2.08 kg/cm²
Esf. Corte: 1.18 kg/cm²

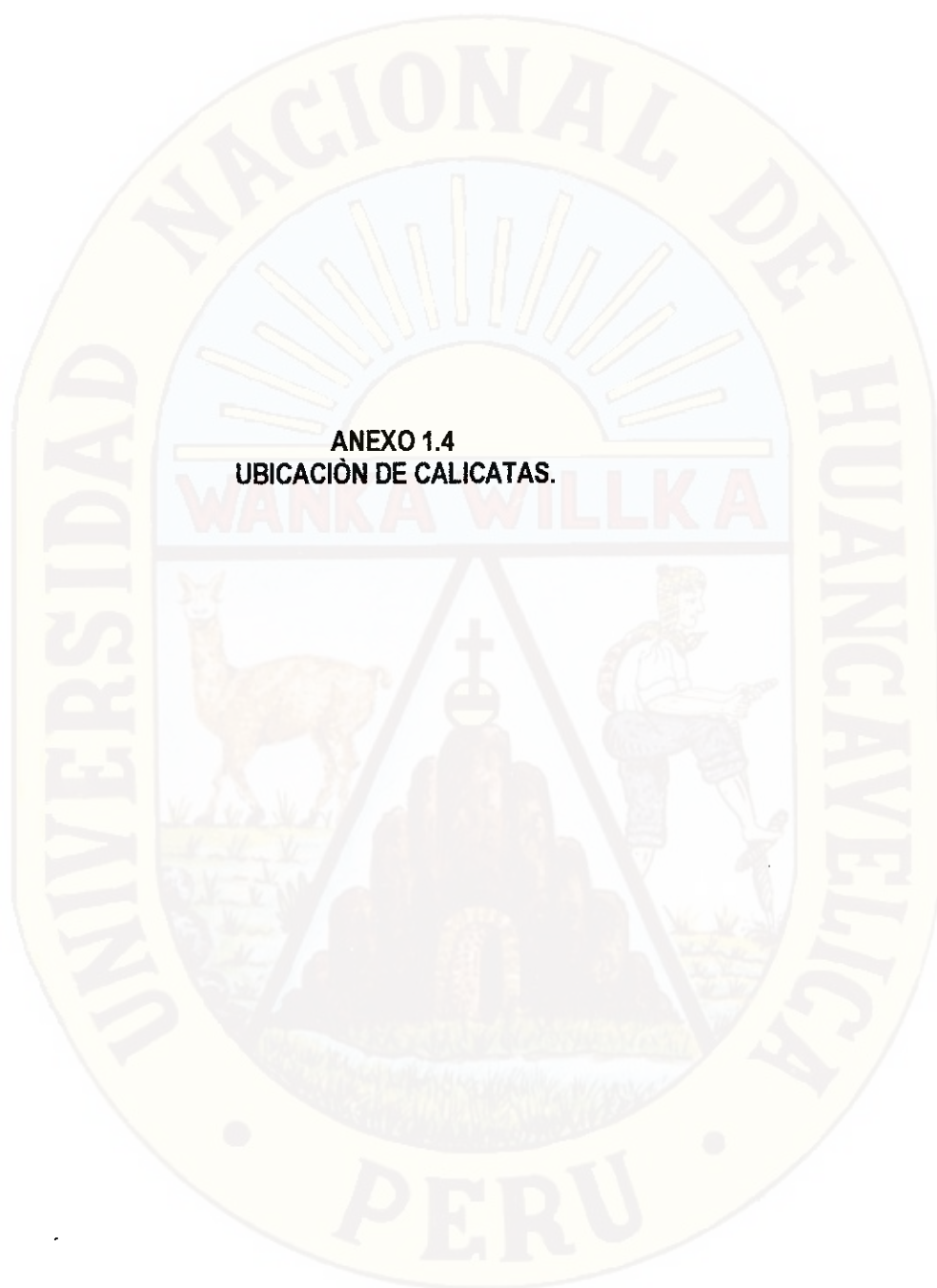
ESPECIMEN 3

Altura: 21.98 mm
Lado : 49.43 mm
D. Seca: 1.85 gr/cm³
Humedad: 7.40 %
Esf. Normal: 4.17 kg/cm²
Esf. Corte: 2.13 kg/cm²

Desp. lateral (mm)	Esfuerzo de Corte (kg/cm ²)	Esfuerzo Normalizado (τ/σ)
0.00	0.00	0.00
0.03	0.06	0.06
0.06	0.18	0.17
0.12	0.23	0.22
0.18	0.27	0.26
0.30	0.34	0.32
0.45	0.40	0.39
0.60	0.45	0.43
0.75	0.52	0.49
0.90	0.56	0.54
1.05	0.61	0.59
1.20	0.66	0.63
1.50	0.74	0.71
1.80	0.74	0.71
2.10	0.74	0.71
2.40	0.74	0.71
2.70	0.74	0.71
3.00	0.74	0.71

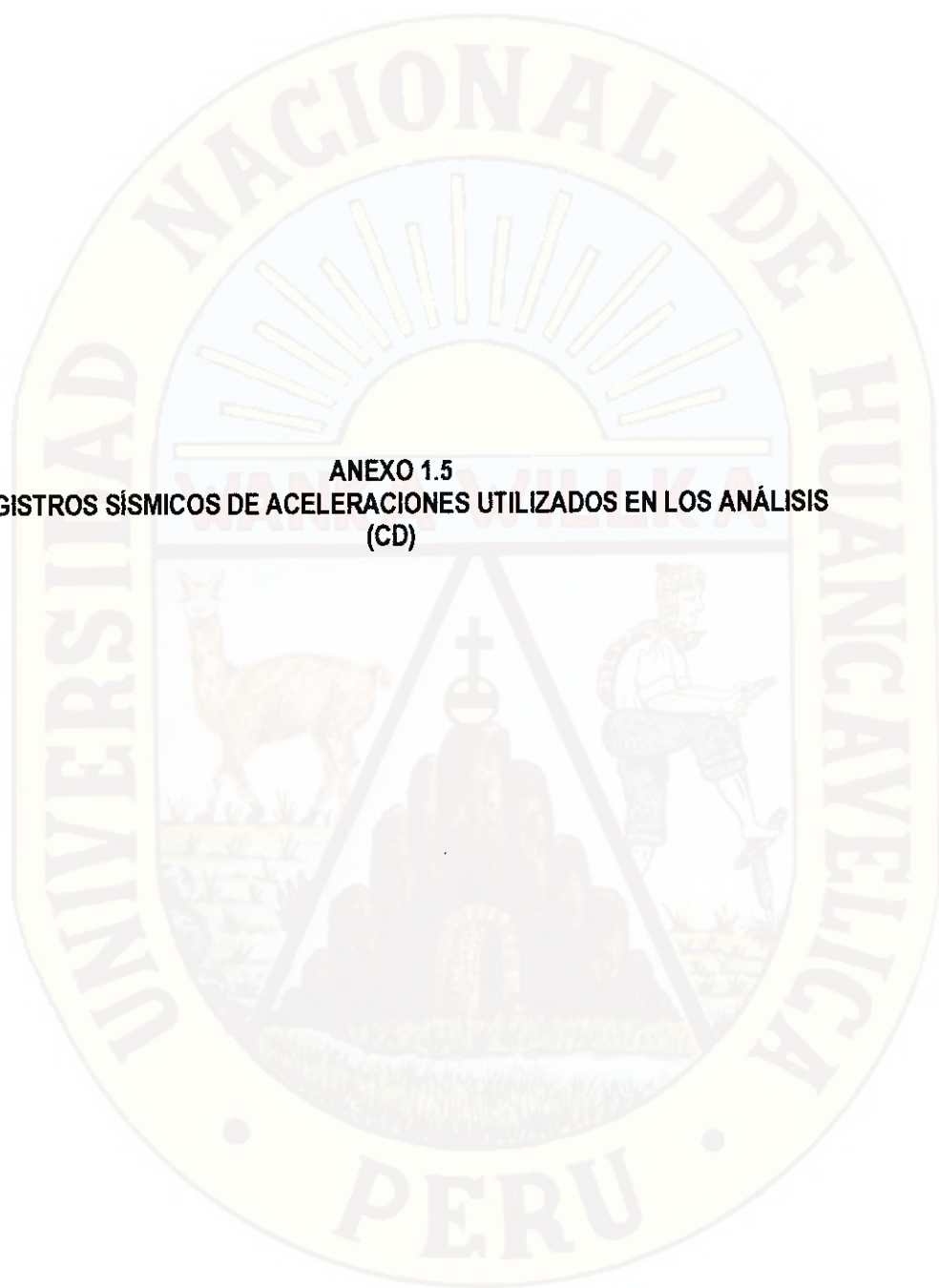
Desp. lateral (mm)	Esfuerzo de Corte (kg/cm ²)	Esfuerzo Normalizado (τ/σ)
0.00	0.00	0.00
0.03	0.11	0.05
0.06	0.18	0.09
0.12	0.29	0.14
0.18	0.34	0.16
0.30	0.47	0.22
0.45	0.58	0.28
0.60	0.73	0.35
0.75	0.81	0.39
0.90	0.90	0.43
1.05	0.95	0.46
1.20	1.03	0.50
1.50	1.18	0.56
1.80	1.18	0.56
2.10	1.18	0.56
2.40	1.18	0.56
2.70	1.18	0.56
3.00	1.18	0.56

Desp. lateral (mm)	Esfuerzo de Corte (kg/cm ²)	Esfuerzo Normalizado (τ/σ)
0.00	0.00	0.00
0.03	0.03	0.01
0.06	0.16	0.04
0.12	0.34	0.08
0.18	0.48	0.12
0.30	0.68	0.16
0.45	0.85	0.20
0.70	1.03	0.25
0.75	1.16	0.28
0.90	1.29	0.31
1.05	1.42	0.34
1.20	1.55	0.37
1.50	1.74	0.42
1.80	1.97	0.47
2.10	2.13	0.51
2.40	2.13	0.51
2.70	2.13	0.51
3.00	2.13	0.51



ANEXO 1.4
UBICACIÓN DE CALICATAS.

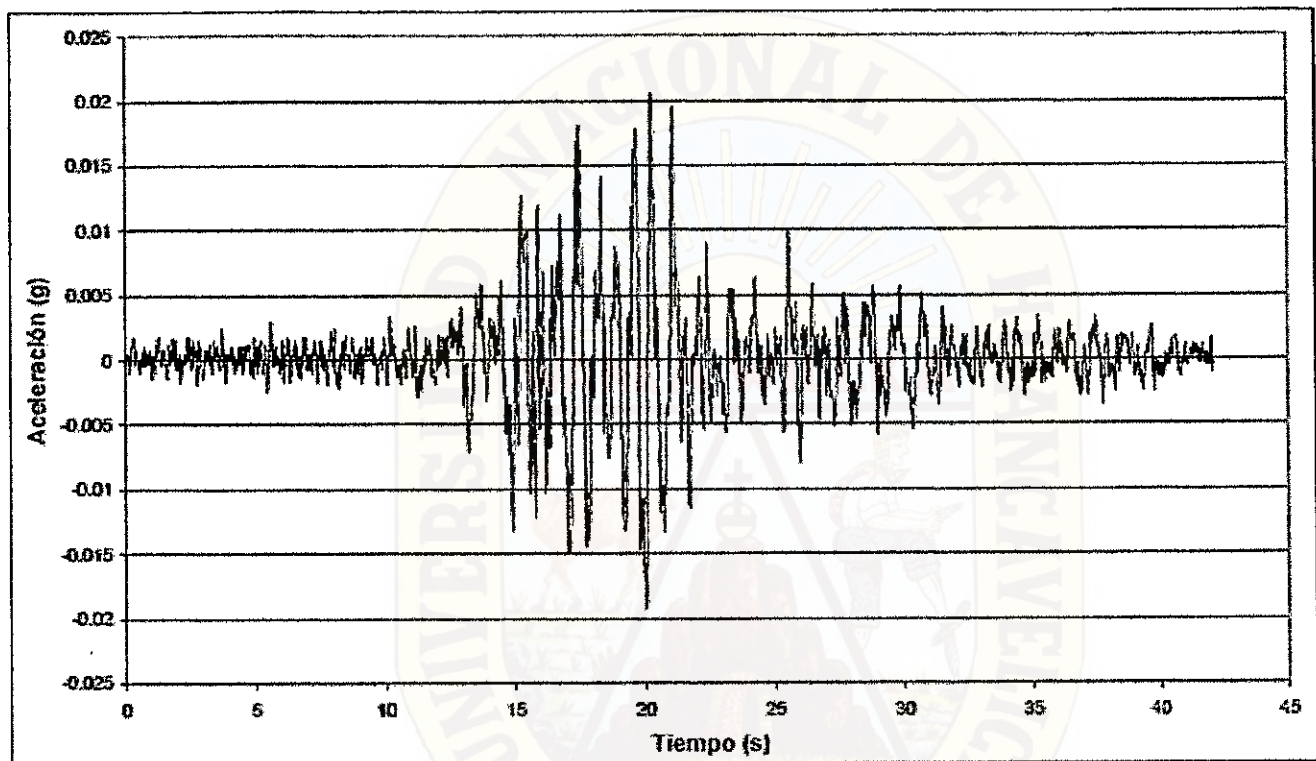
ANEXO 1.5
REGISTROS SÍSMICOS DE ACELERACIONES UTILIZADOS EN LOS ANÁLISIS
(CD)



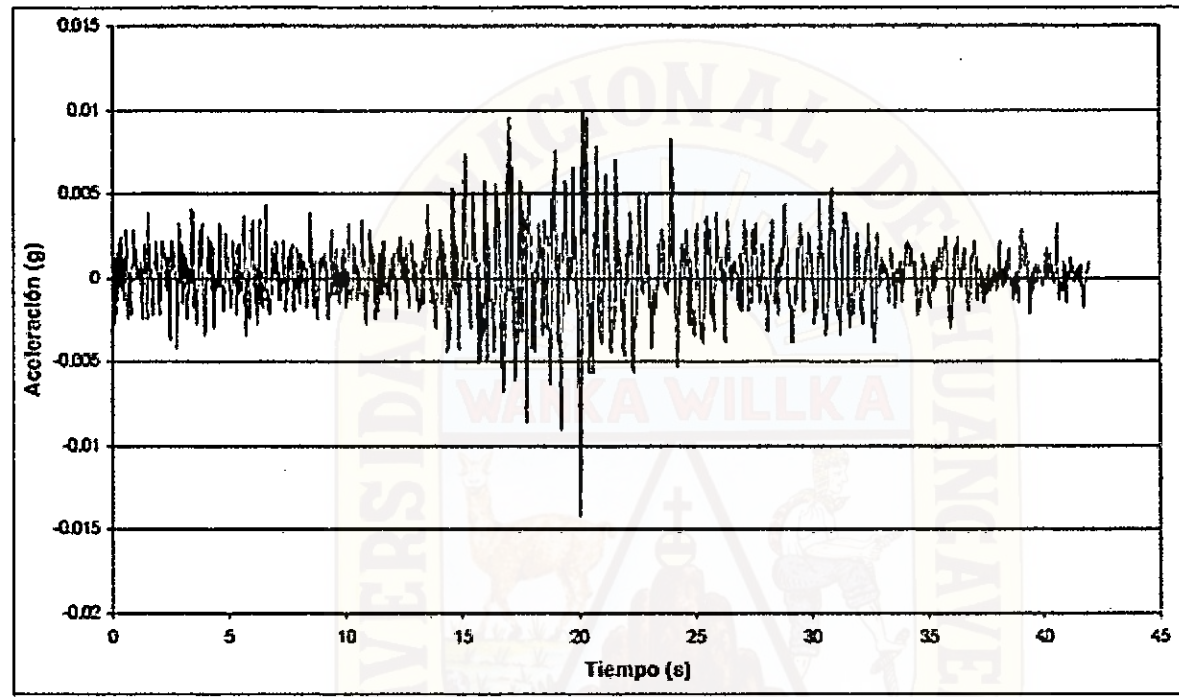
REGISTRO SÍSMICO DEL 20 DE OCTUBRE DEL 2006.

DATOS GENERALES DE SISMO	
Fecha del evento	20/20/2006
Magnitud (escala de Ritecher)	6.4°
Lugar de ocurrencia	Ica - Pisco
Epicentro	Mar adentro de Pisco
Hora	05 hrs:49 min
Estación	PUCP 29300. ASC
Duración	42.14 Seg
Número de registro	8428

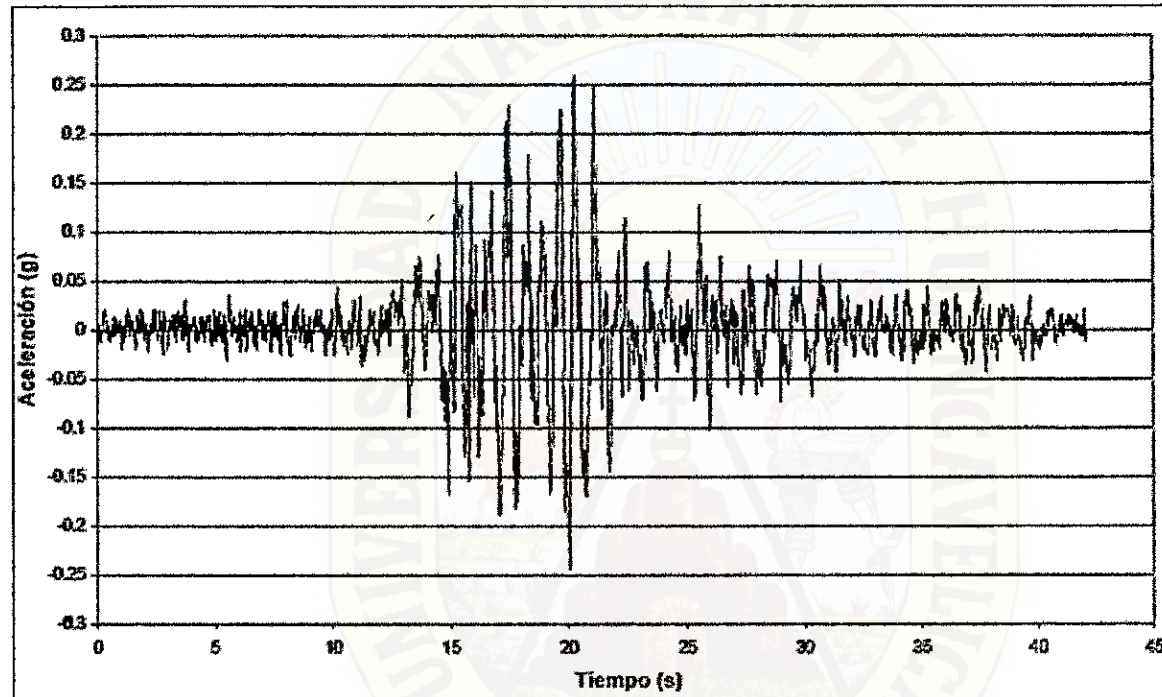
Registro de aceleraciones de sismo del 20 de octubre de 2006
Dirección Longitudinal.



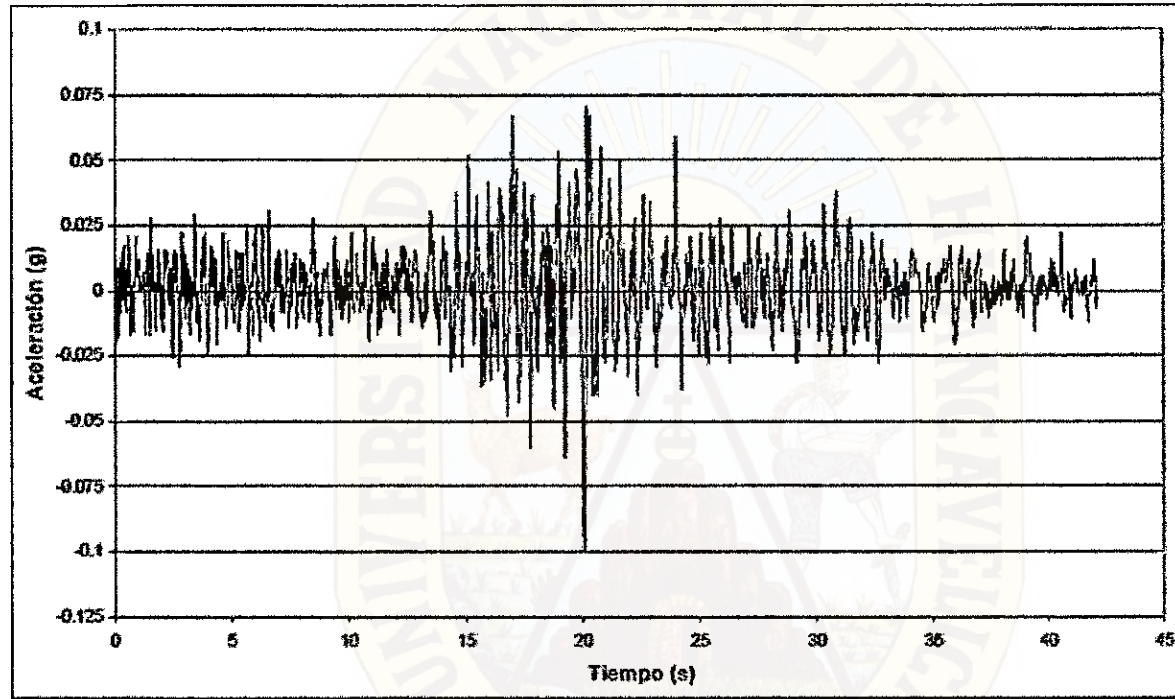
Registro de aceleraciones de sismo del 20 de octubre de 2006
Dirección Vertical.



Registro de aceleraciones de sismo del 20 de octubre de 2006
Dirección Longitudinal – Escalado a 0.26g.

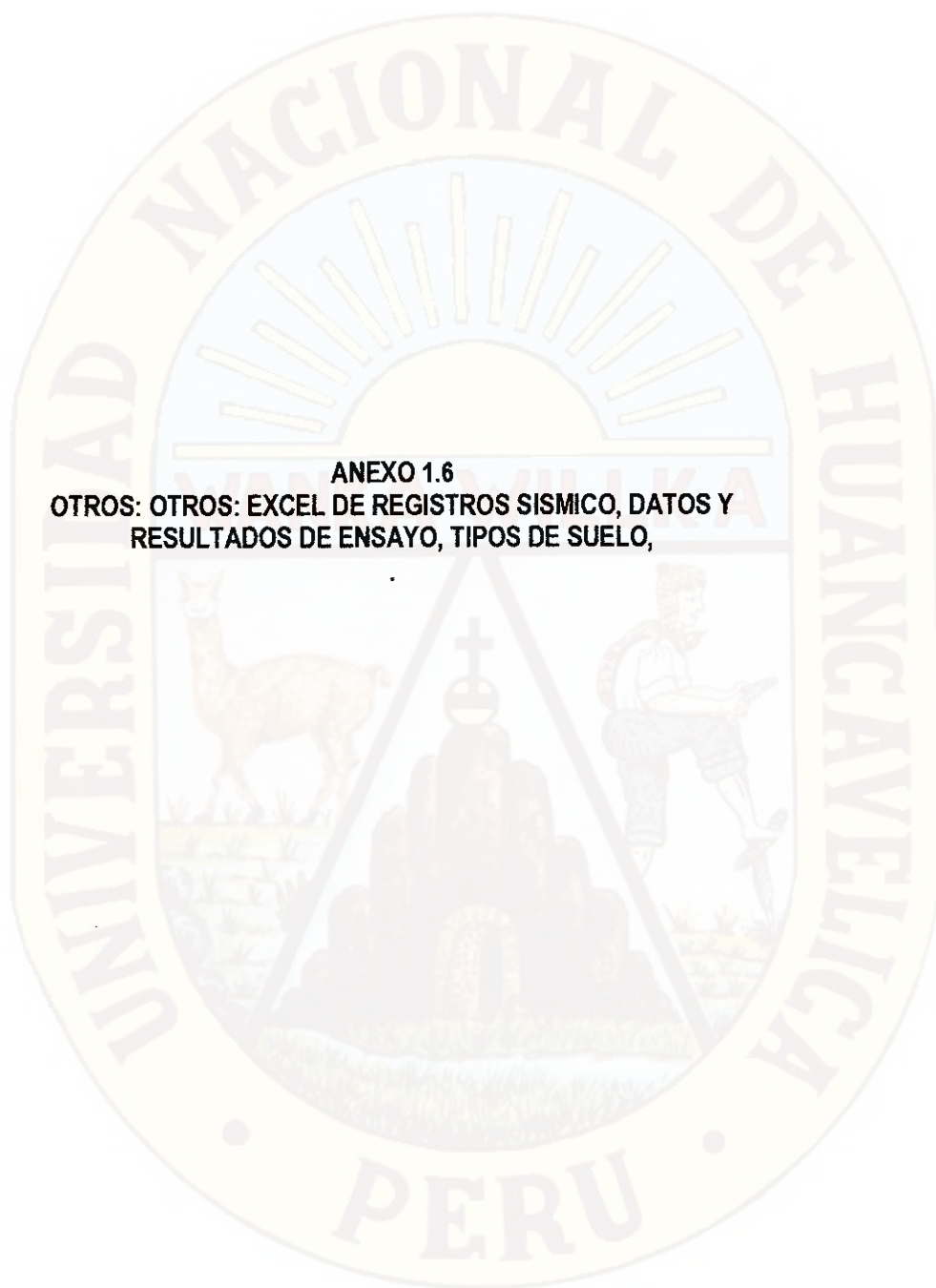


Registro de aceleraciones de sismo del 20 de octubre de 2006
Dirección Vertical – Escalado a 0.1g.





ANEXO 1.6
OTROS.



ANEXO 1.6

**OTROS: OTROS: EXCEL DE REGISTROS SISMICO, DATOS Y
RESULTADOS DE ENSAYO, TIPOS DE SUELO,**

ANEXO 1.7. DATOS Y RESULTADOS DE ENSAYOS

NOMBRE DEL PROYECTO DE TESIS:

"ANÁLISIS DINÁMICO DE ESTABILIDAD DE TALUDES POR ELEMENTOS FINITOS EN LA ZONA DE HUAYLLAPAMPA DEL DISTRITO DE CUENCA - HUANCAMELICA"

FECHA DEL ENSAYO:

19/04/2016 - 21/04/2014

SOLICITANTES:

Tesistas:

- **TARDEO DE LA CRUZ, Cesar Augusto**
- **ZANABRIA PARI, Ever**

OBJETIVO DEL ENSAYO:

A fines de estabilidad de taludes en el Sector Santa Bárbara, Calculo del C, ϕ y demás.

ESTRATIGRAFÍA CALICATAS:

Calicata N° 01

ESTRATO	PROFUNDIDAD (m)
Muestra 01	0.4
Muestra 02	0.9
Arena arcillosa	> 1.30



Calicata N° 02:

ESTRATO	PROFUNDIDAD (m)
Muestra 01	0.5
Muestra 02	0.9
Arena arcillosa con limos	> 1.50

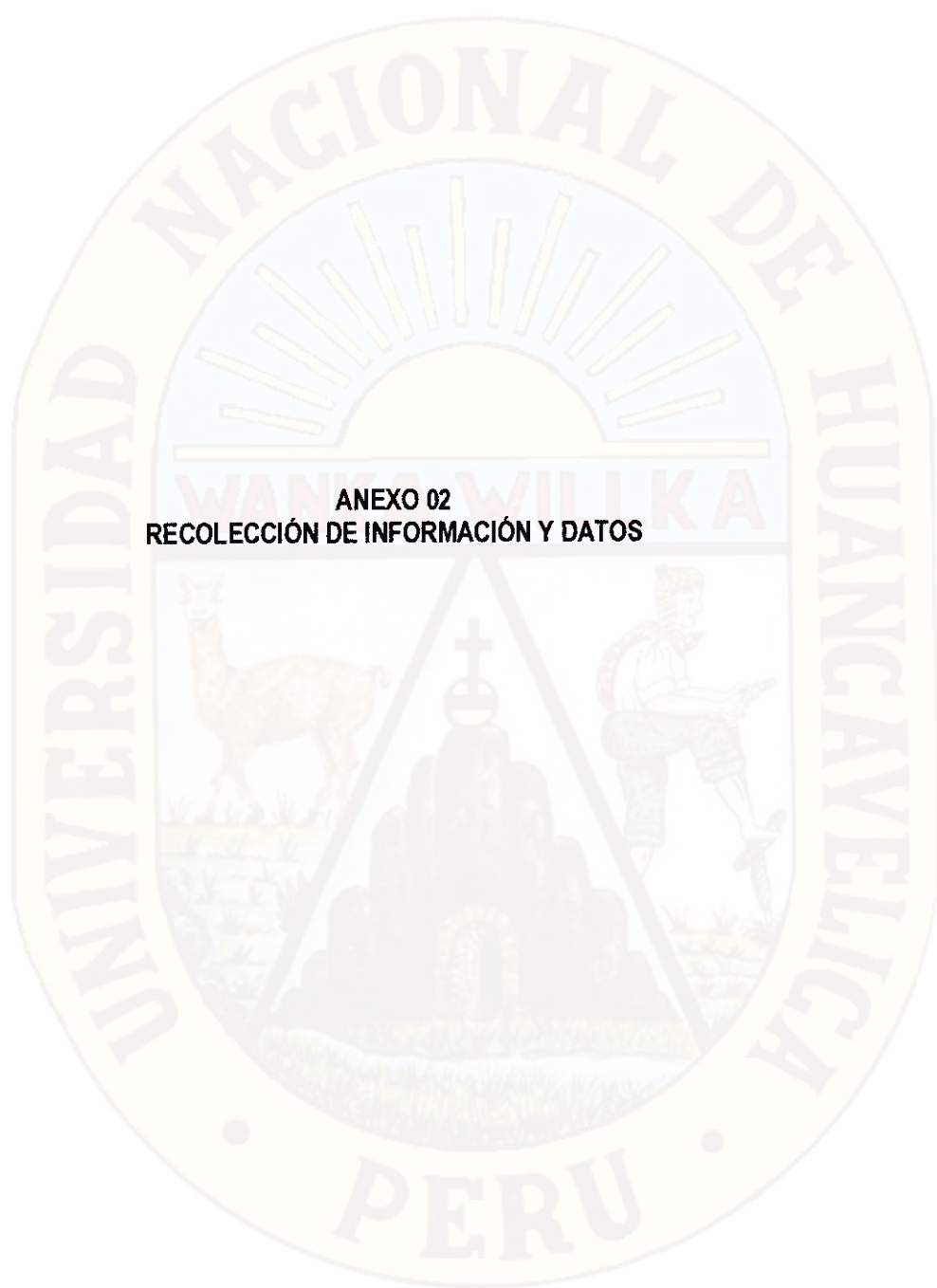


RESULTADOS DEL ENSAYO DE CORTE DIRECTO

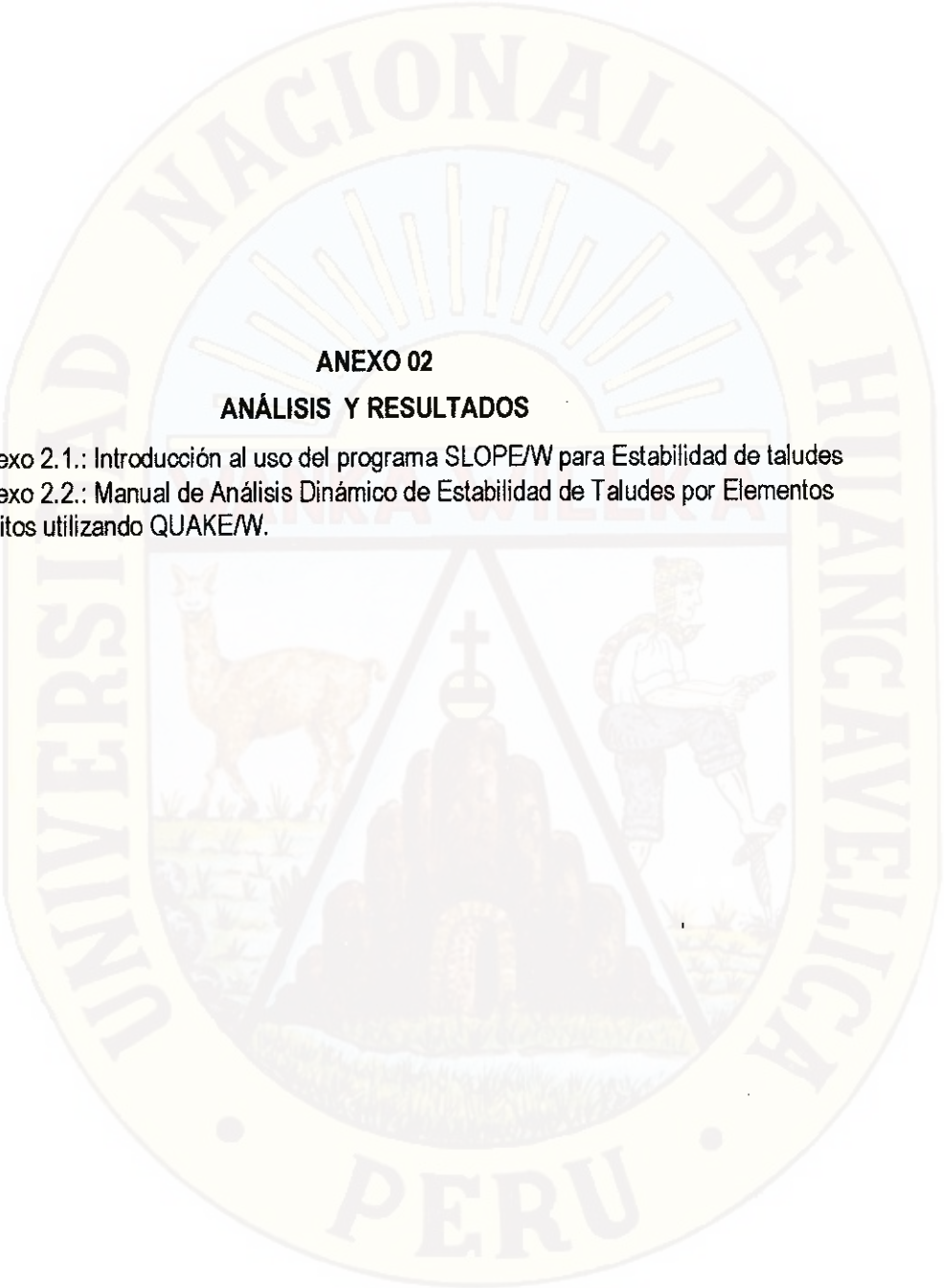
Ubicación	Tipo de ensayo	% Grava	% Arena	% Finos	γ (TN/m ³)	C(kg/cm ²)	ϕ (°)	Observación
C-1	Corte directo	82.58	30.56	24.06	2.03	0.19	21.37	Remoldeada
C-2	Corte directo	40.24	8.61	6.28	2.11	0.28	23.68	Remoldeada

RESULTADOS DEL ENSAYO DE CORTE DIRECTO. TIPO DE SUELO

Ubicación	Tipo de ensayo	% Grava	% Arena	% Finos	γ (TN/m3)	C (kg/cm2)	ϕ (°)	Observación	Tipo de suelo según C y ϕ	CLASIFICACIÓN SUCS	
										Símbolo	Nombre Típico
C-1	Corte Directo	82.58	3056	24.06	2.03	0.19	21.37	Remoldeada	Arena Arcillosa Mal Graduada	SC	Arena Arcillosa, Mezcla de Arena y Arcilla Mal Graduada
C-2	Corte Directo	40.24	8.61	6.28	2.11	0.28	23.68	Remoldeada	Grava mal Graduada y Grava Arcillosa	GP-GC	Mezclas de Arena y Gravas con Pocos Finos - Mezcla mal Graduadas de Gravas y Finos



ANEXO 02
RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN Y DATOS

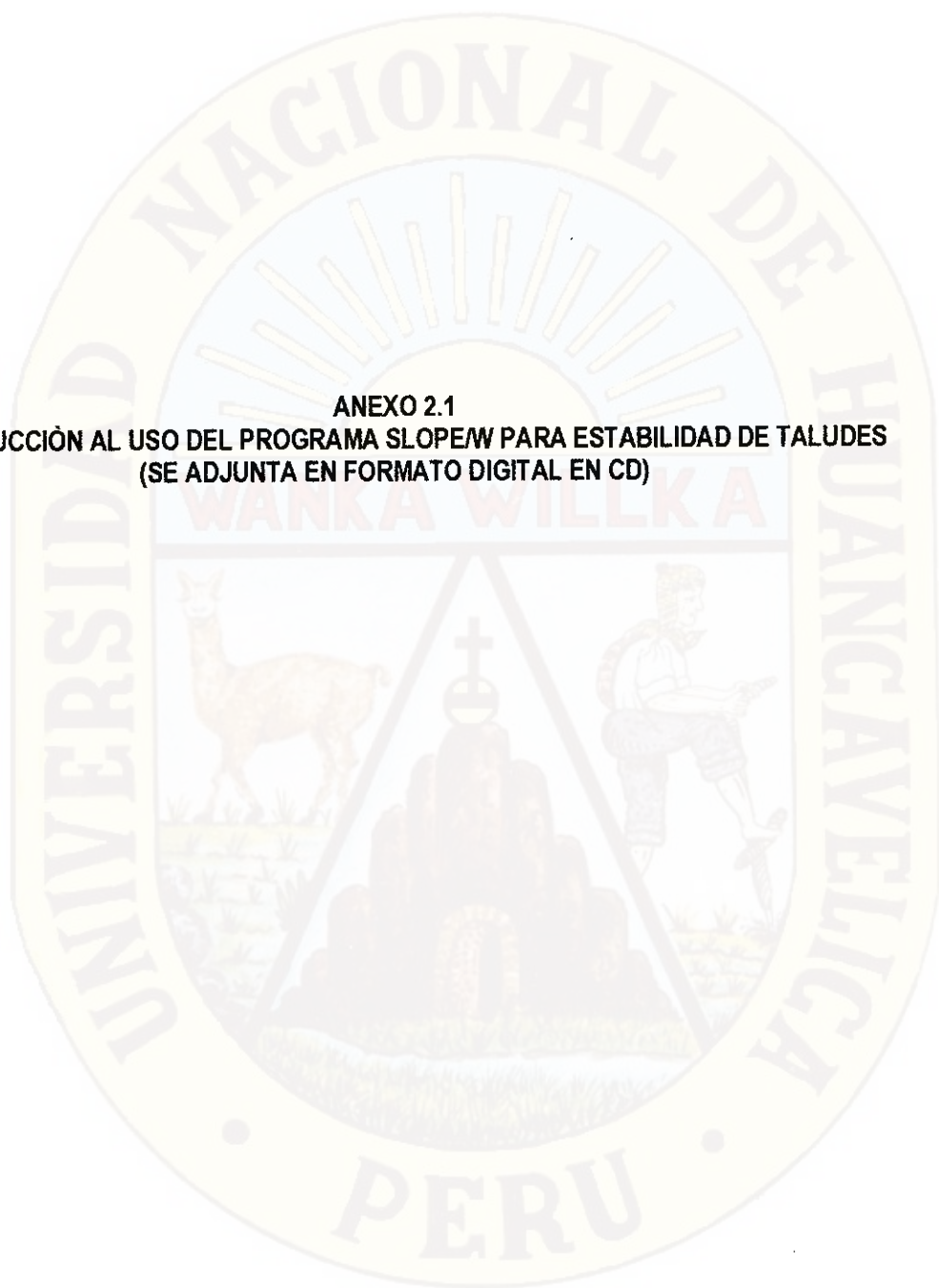


ANEXO 02

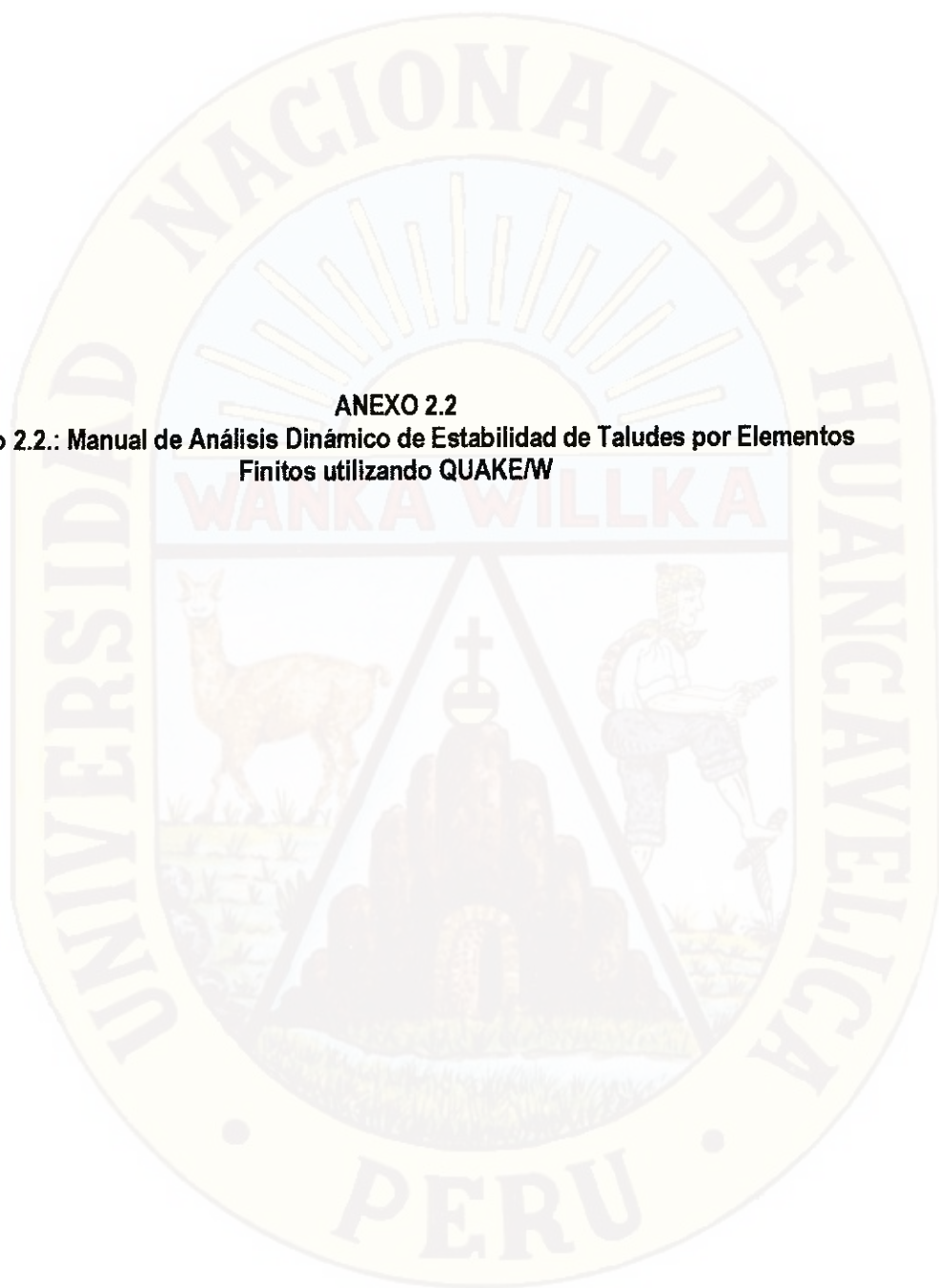
ANÁLISIS Y RESULTADOS

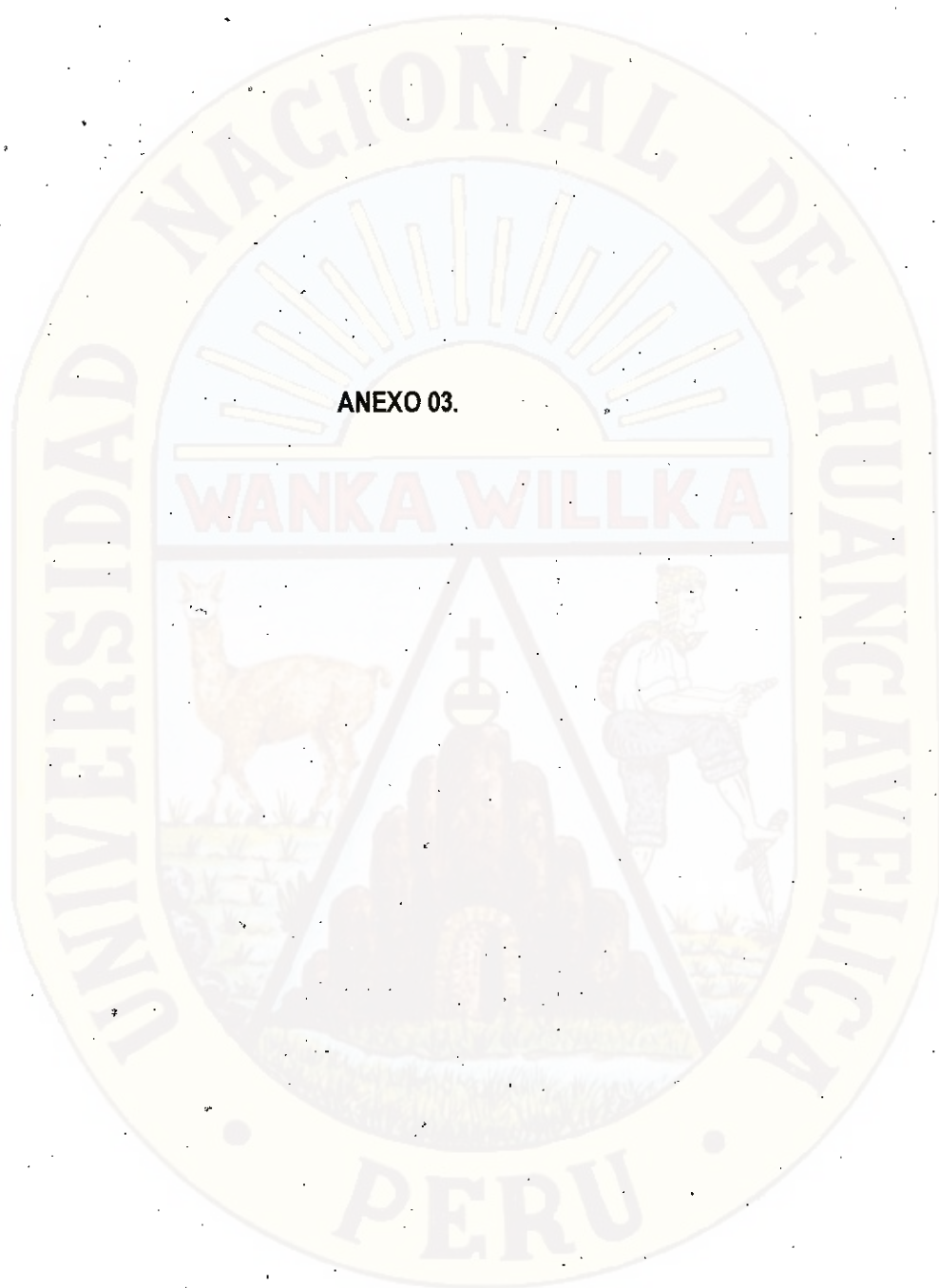
- Anexo 2.1.: Introducción al uso del programa SLOPE/W para Estabilidad de taludes
- Anexo 2.2.: Manual de Análisis Dinámico de Estabilidad de Taludes por Elementos Finitos utilizando QUAKE/W.

ANEXO 2.1
INTRODUCCIÓN AL USO DEL PROGRAMA SLOPE/W PARA ESTABILIDAD DE TALUDES
(SE ADJUNTA EN FORMATO DIGITAL EN CD)



ANEXO 2.2
Anexo 2.2.: Manual de Análisis Dinámico de Estabilidad de Taludes por Elementos
Finitos utilizando QUAKE/W





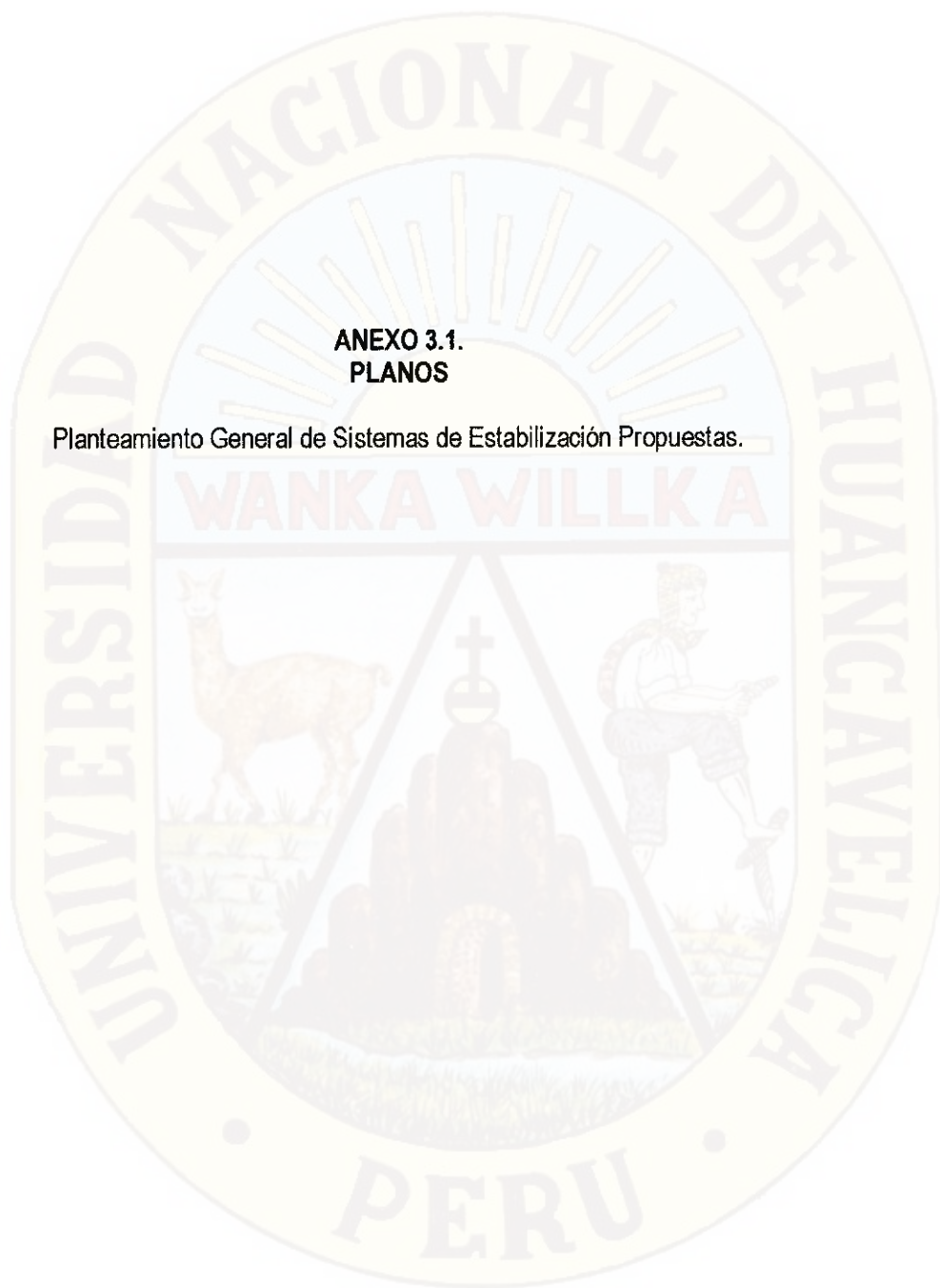
ANEXO 03.

ANEXO 03.
PROPUESTA Y SOLUCIONES PARA INESTABILIDAD

Anexo 3.1.: Planos.

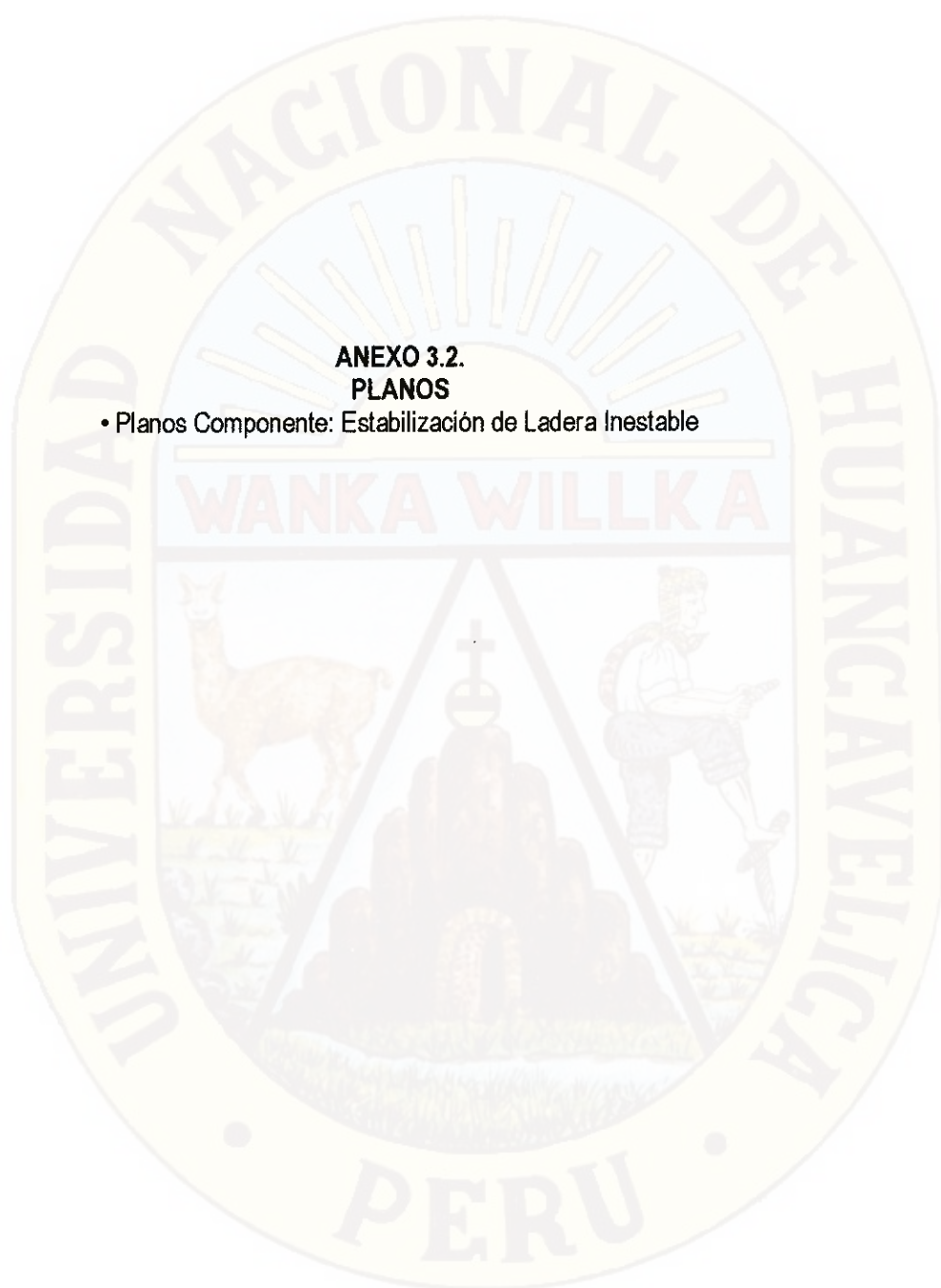
Anexo 3.2.: Metrados.

Anexo 3.3.: Presupuesto y Análisis de Costos Unitarios.



ANEXO 3.1.
PLANOS

Planteamiento General de Sistemas de Estabilización Propuestas.



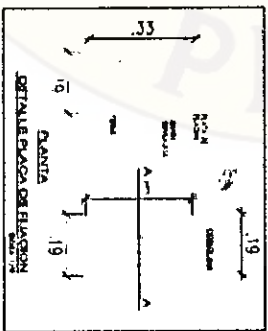
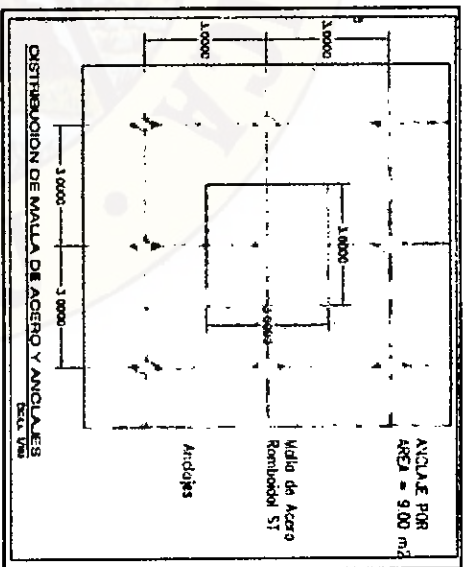
ANEXO 3.2.
PLANOS

- Planos Componente: Estabilización de Ladera Inestable

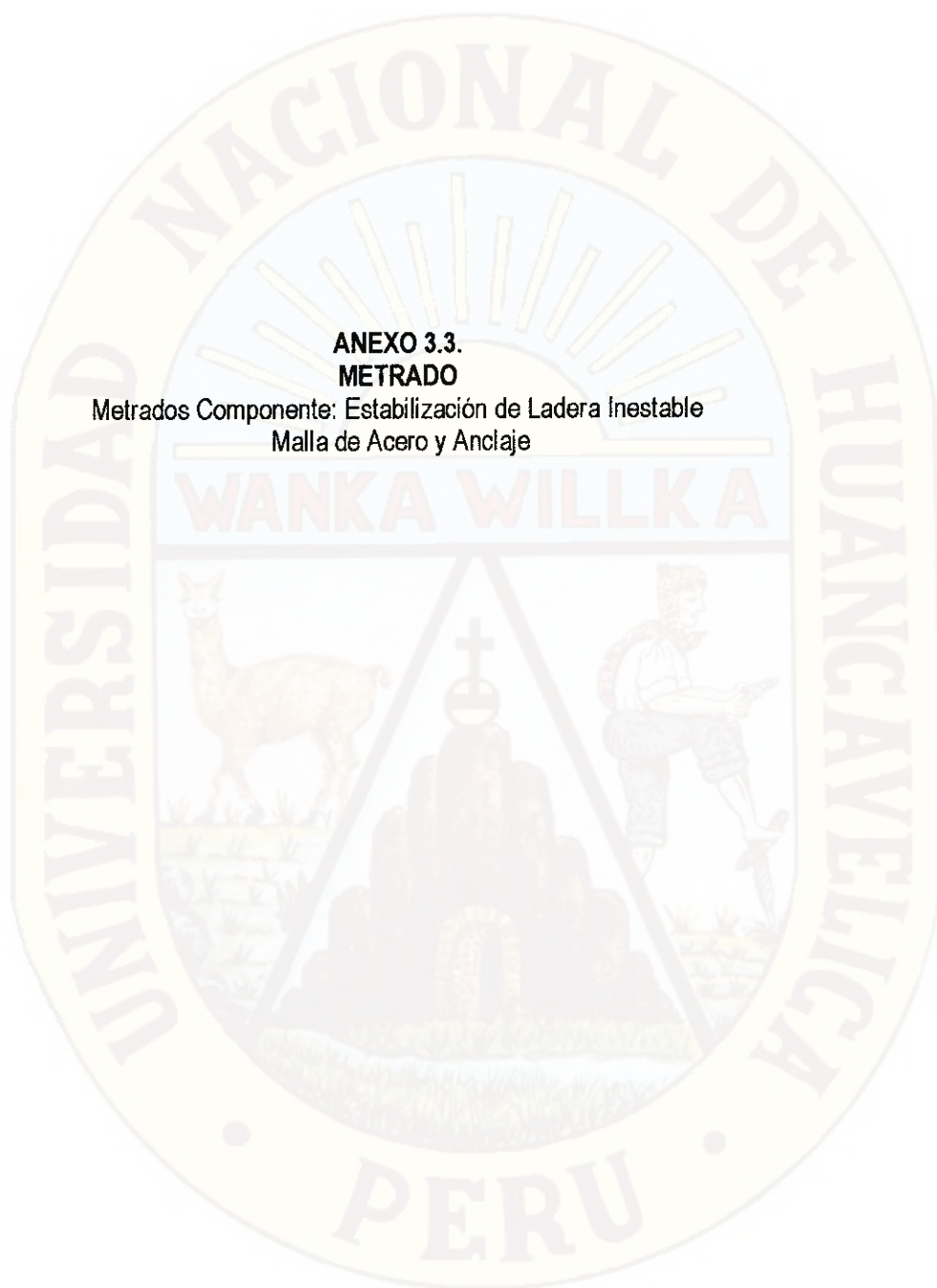
[illegible]

Organization	Paul & George (1981) and
Year	1981
Country of origin	USA
Age	18-20 years
Assessment in	University
Sample size (n)	150
	150 males and 150 females

Type of assessment	
Developer: <i>DeJong</i>	1. Visual stimuli: drawings of 10 animals (lion, eagle, bear, rabbit, etc.)
Participants: <i>100</i>	2. Verbal stimuli: 100 words (e.g., lion, eagle, bear, rabbit, etc.)
Stimulus material: <i>100</i>	3. Verbal stimuli: 100 words (e.g., lion, eagle, bear, rabbit, etc.)
Assessment: <i>100</i>	4. Verbal stimuli: 100 words (e.g., lion, eagle, bear, rabbit, etc.)



DESCRIPCION	PLACAS DE FIJACION
Una placa de fijación por adherencia (TCCO) con 3 adhesivos para unir el material a la placa de fijación, el cual puede ser la resina de resina o resina, resina de silicona, resina de epoxi, resina de resina, con el uso de un adhesivo.	



ANEXO 3.3.
METRADO

Metrados Componente: Estabilización de Ladera Inestable
Malla de Acero y Anclaje

PLANILLA DE METRADOS - MALLA DE ACERO Y ANCLAJE -HUAYLLAPAMPA

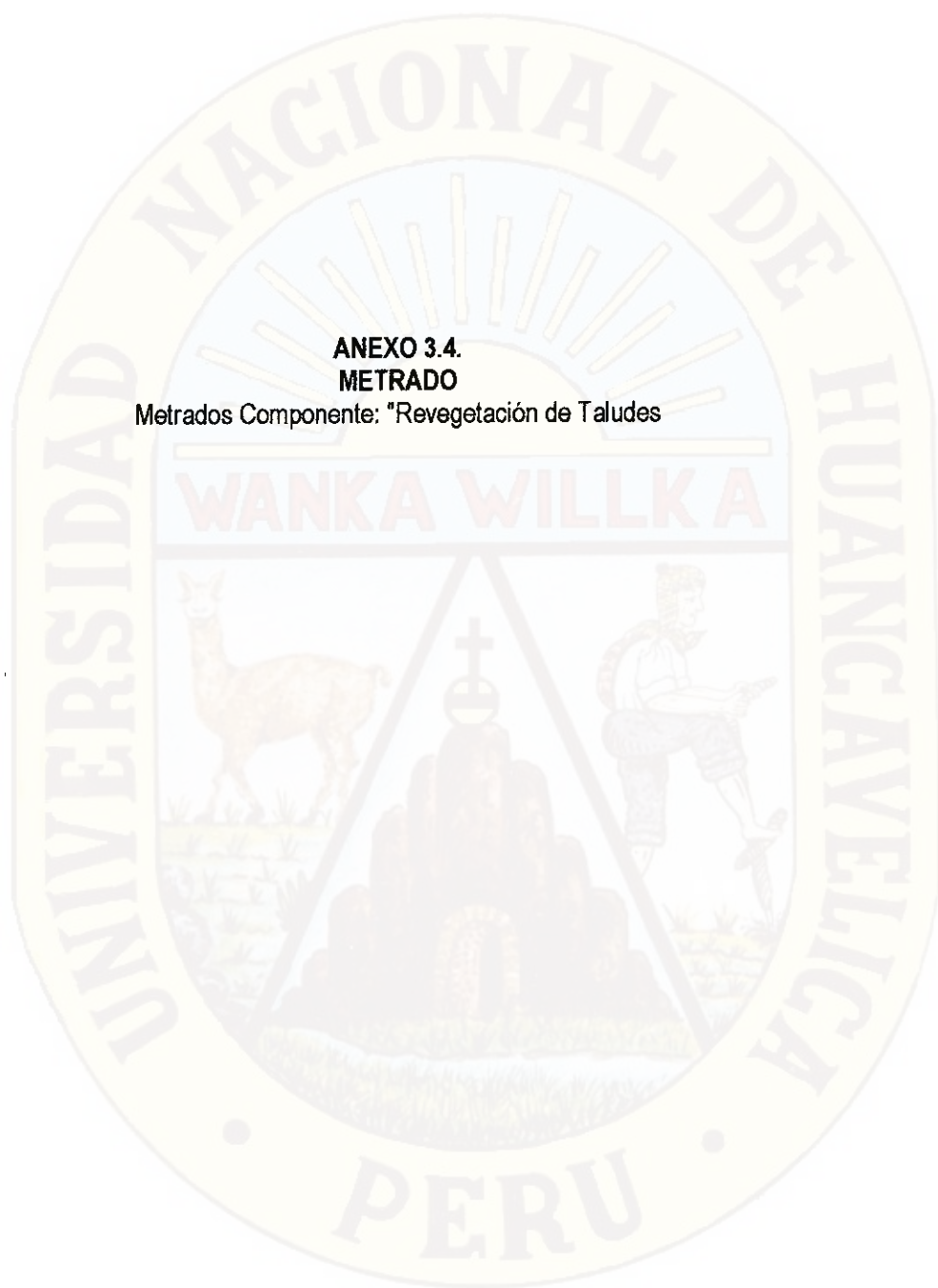
PROYECTO DE INVESTIGACION: "ANÁLISIS DINÁMICO DE ESTABILIDAD DE TALUDES POR ELEMENTOS FINITOS EN LA ZONA DE HUAYLLAPAMPA DEL DISTRITO DE CUENCA - HUANCAVELICA"

COMPONENTE: ESTABILIZACION DE LADERA INESTABLE ZONA DE HUAYLLAPAMPA-MALLA DE ACERO Y ANCLAJE

TESISTAS BACH. TARDEO DE LA CRUZ, Cesar Augusto
BACH. ZANABRIA PARI, Ever

FECHA jun-18

PARTIDA	PARTIDA	UND.	N° DE VECES	DIMENSIONES			PARC	TOTAL
				LARGO	ANCHO	ALTO		
01.00.00	OBRAS PRELIMINARES							
01.01.01	CARTEL DE IDENTIFICACION DE OBRA	UND.	1.00				1.00	1.00
01.01.02	OFICINA, GUARDIANIA Y ALMACEN	GLB.	1.00				1.00	1.00
01.01.03	LIMPIEZA GENERAL DE TERRENO	M2	1.00	AREA=	15,576.90		15,576.90	15,576.90
01.01.04	TRAZO Y REPLANTEO (DURANTE LA OBRA)	M2	1.00	AREA=	15,576.90		15,576.90	15,576.90
02.00.00	SISTEMA FLEXIBLE EN LA ZONA DE HUAYLLAPAMPA							
02.01.00	INSTALACION DE PERNOS DE ANCLAJE							
02.01.01	PERFORACION CON TALADRO	ML.	1,520.00	3.05			4,636.00	4,636.00
	SECTOR DE HUAYLLAPAMPA							
02.01.01	INYECCION DE RESINA	M3	1,520.00	VOL=	0.00		6.34	6.34
	SECTOR DE HUAYLLAPAMPA							
02.01.01	INSTALACION DE BARRA CORRUGADA	UND.	1,520.00				1,520.00	1,520.00
	SECTOR DE HUAYLLAPAMPA							
02.02.00	MALLA DE ALAMBRE REFORZADA ROMBOIDAL-TECCO							
02.02.01	COLOCADO DE MALLA DE ACERO REFORZADA	M2	1.00	AREA=	15,576.90		15,576.90	15,576.90
	SECTOR DE HUAYLLAPAMPA							
02.02.01	TENSADO DE PERNO DE ANCLAJE	UND.	1,520.00				1,520.00	1,520.00
	SECTOR DE HUAYLLAPAMPA							
03.00.00	CAPACITACIONES							
03.01.00	SERVICIO DE CAPACITACION SOBRE DESASTRES NATURALES	GLB.	1.00				1.00	1.00
04.00.00	FLETE TERRESTRE Y RURAL							
04.01.00	FLETE TERRESTRE Y RURAL	GLB.	1.00				1.00	1.00

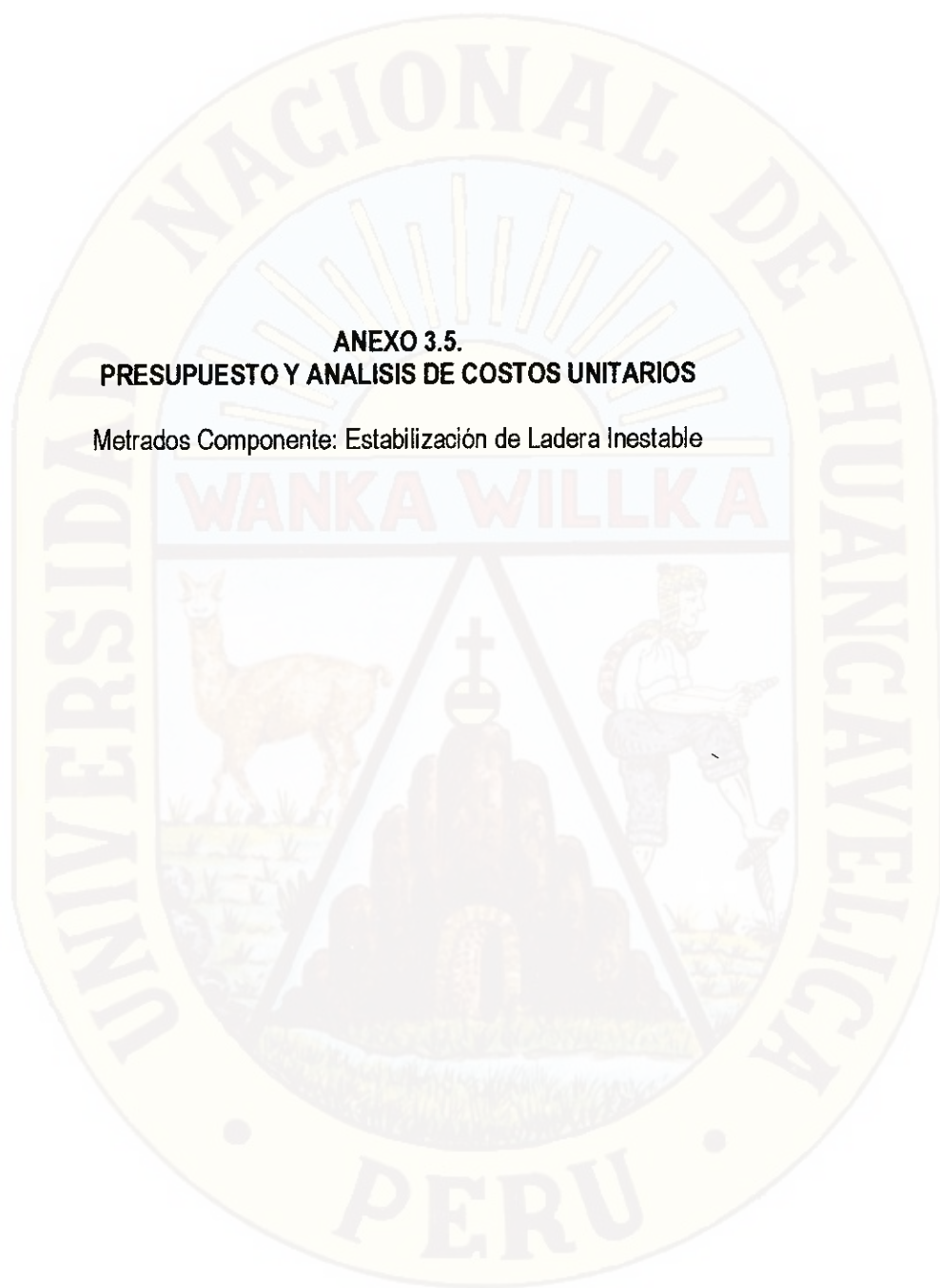


ANEXO 3.4.
METRADO

Metrados Componente: "Revegetación de Taludes

ANEXO 3.5.
PRESUPUESTO Y ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS

Metrados Componente: Estabilización de Ladera Inestable



Presupuesto

0301026 "ANÁLISIS DINÁMICO DE ESTABILIDAD DE TALUDES POR ELEMENTOS FINITOS EN LA ZONA DE HUAYLLAPAMPA
DEL DISTRITO DE CUENCA - HUANCÁVELICA"
001 01: MALLA DE ACERO Y ANCLAJE - HUAYLLAPAMPA
MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE CUENCA
HUANCÁVELICA - HUANCÁVELICA - CUENCA

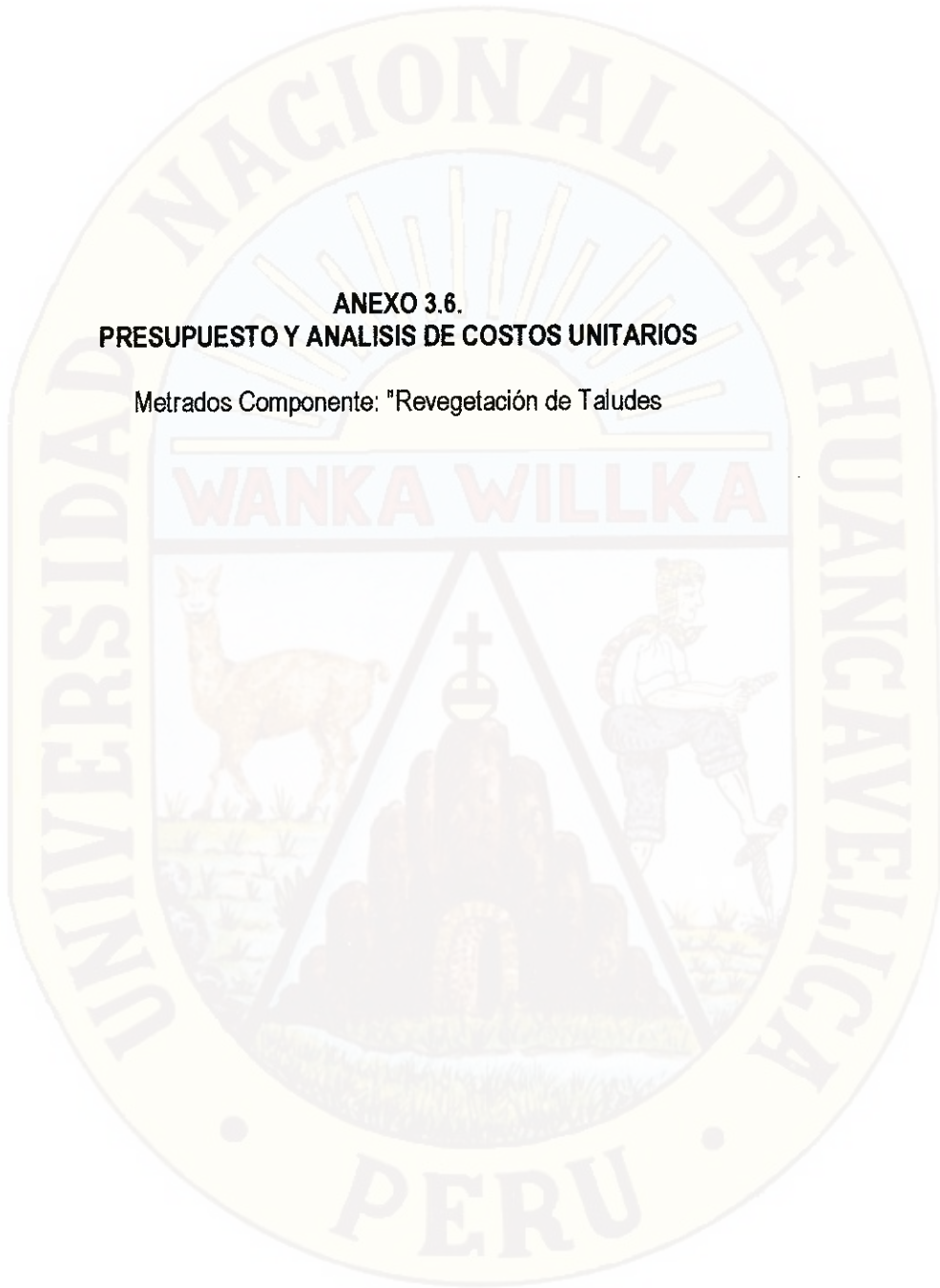
Costo al 26/09/2016

m	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
	OBRAS PRELIMINARES				88,301.82
01	CARTEL DE IDENTIFICACION DE LA OBRA	und	1.00	805.79	805.79
02	OFICINA, GUARDIANIA Y ALMACEN	GLB	1.00	1,200.00	1,200.00
03	LIMPIEZA GENERAL DE TERRENO	m2	15,576.90	1.71	26,636.50
04	TRAZO Y REPLANTEO (DURANTE LA OBRA)	m2	15,576.90	3.83	59,659.53
	SISTEMA FLEXIBLE EN LA ZONA DE HUAYLLAPAMPA				1,487,215.21
01	INSTALACION DE PERNOS DE ANCLAJE				141,791.47
01.01	PERFORACION CON TALADRO	ML	4,636.00	25.58	118,588.88
01.02	INYECCION DE RESINA	m3	6.34	63.50	402.59
01.03	INSTALACION DE BARRA CORRUGADA	und	1,520.00	15.00	22,800.00
02	MALLA DE ALAMBRE REFORZADA ROMBOIDAL-TECCO				1,325,423.74
02.01	COLOCADO DE MALLA DE ACERO REFORZADA	m2	15,576.90	82.47	1,284,626.94
02.02	TENSADO DE PERNO DE ANCLAJE	und	1,520.00	26.84	40,796.80
	CAPACITACIONES				2,500.00
01	SERVICIO DE CAPACITACION SOBRE DESASTRES NATURALES	GLB	1.00	2,500.00	2,500.00
	FLETE TERRESTRE Y RURAL				62,000.00
01	FLETE TERRESTRE Y RURAL	GLB	1.00	62,000.00	62,000.00
	Costo Directo				1,620,017.03

SON : UN MILLÓN SEISCIENTOS VEINTE MIL DIECISIETE Y 03/100 NUEVOS SOLES

ANEXO 3.6.
PRESUPUESTO Y ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS

Metrados Componente: "Revegetación de Taludes



Presupuesto

upuesto

0301026

"ANÁLISIS DINÁMICO DE ESTABILIDAD DE TALUDES POR ELEMENTOS FINITOS EN LA ZONA DE HUAYLLAPAMPA DEL DISTRITO DE CUENCA - HUANCAMELICA"

resupuesto

002

02. REVEGETACION

Costo al

26/09/2016

MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE CUENCA

HUANCAMELICA - HUANCAMELICA - CUENCA

1	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
	REVEGETACION				8,385.25
1	PLANTONES EN TALUD	HA	2.30	3,645.76	8,385.25
	Costo Directo				8,385.25
	SON: OCHO MIL TRESCIENTOS OCHENTICINCO Y 25/100 NUEVOS SOLES				



Análisis de precios unitarios

Presupuesto

0301026 "ANÁLISIS DINÁMICO DE ESTABILIDAD DE TALUDES POR ELEMENTOS FINITOS EN LA ZONA DE HUAYLLAPAMPA DEL DISTRITO DE CUENCA - HUANCAMELICA"

Subpresupuesto

002 02. REVEGETACION

Fecha presupuesto

26/09/2016

Artículo	01.01	PLANTONES EN TALUD					
Rendimiento	HA/DIA	MO. 0.6000	EQ. 0.6000	Costo unitario directo por : HA		3,645.76	
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra						
0147010002	OPERARIO		hh	1.0000	13.3333	9.24	123.20
0147010004	PEON		hh	10.0000	133.3333	7.26	968.00
							1,091.20
	Materiales						
0226030093	PLANTON NATIVO DE 1.2 ML		und		500.0000	5.00	2,500.00
							2,500.00
	Equipos						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		5.0000	1,091.20	54.56
							54.56

